



Escola Tècnica Superior d'Enginyers  
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

**Títol**

**FACHADAS DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO**

**Autor/a**

**Cristina Bayo Porter**

**Tutor/a**

**Antonio Aguado de Cea**

**Departament**

**Ingeniería de la Construcción**

**Intensificació**

**Tecnología y Construcción de Estructuras**

**Data**

**Junio de 2011**



# **FACHADAS DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO**

Autora: Cristina Bayo Porter  
Tutor: Antonio Aguado de Cea

## **RESUMEN**

Toda edificación necesita una piel que la proteja y le aporte identidad y diferenciación frente a las demás. Las fachadas de hormigón arquitectónico ofrecen solución a estas dos necesidades pues, además de tratarse de un material con excepcionales cualidades resistentes, aislantes y de durabilidad, puede ofrecer excelentes prestaciones estéticas.

Las cualidades mecánicas del hormigón son ampliamente conocidas y estudiadas, sin embargo, las prestaciones estéticas que puede ofrecer suelen pasar desapercibidas y no suelen ser objeto de estudio. Por ello, en esta tesina se pretende profundizar en el hormigón arquitectónico, concretamente en su aplicación en la realización de fachadas donde el aspecto estético en numerosos casos es un apartado básico a considerar en proyecto.

Con este objetivo, se ha dividido el estudio en tres partes fundamentales. En la primera parte se lleva a cabo un estado general del conocimiento sobre el hormigón arquitectónico en el que se incluye su evolución histórica como material de construcción, desde sus orígenes hasta su etapa de consolidación. Además, también se revisan los factores que inciden en la estética de una estructura y los procedimientos para lograr cada uno de estos factores.

La segunda parte del estudio consta de tres capítulos. En ellos se presentan los métodos de realización de fachadas de hormigón arquitectónico: las realizadas in situ, las fachadas realizadas mediante paneles prefabricados en planta y las realizadas con paneles prefabricados in situ. En cada uno de estos tres capítulos además, se presentan fachadas representativas. De este modo se analiza el Palacio de Congresos de Cataluña en el capítulo donde se tratan las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas in situ. Como fachadas representativas realizadas mediante paneles prefabricados en planta se describen las de la Escuela Superior de Administración y Dirección de Empresas (ESADE) y el Aparthotel Ako-Suits. Por último se analiza el Instituto de Educación Física de Cataluña (INEFC) cuya fachada fue realizada con paneles prefabricados in situ.

Finalmente, en la tercera parte, se lleva a cabo un estudio de la degradación de fachadas. Esta última parte está formada por dos capítulos. El primero de ellos analiza las causas que provocan la degradación de las fachadas y los efectos que aparecen en ellas. El otro capítulo, a su vez, presenta un análisis estadístico que se ha realizado cuyo objetivo principal consiste en pronosticar qué lesión puede presentar una fachada en función del material con el que está realizada. La importancia de este análisis reside en la conclusión de que el hormigón, frente a ocho materiales más analizados, es el material con menor porcentaje de padecer lesión.

Con todo ello, se espera que el presente documento sirva como guía a aquellos arquitectos e ingenieros que decidan introducir fachadas de hormigón arquitectónico en sus proyectos, mostrándoles el camino a seguir, los obstáculos que pueden surgir y cómo evitarlos.





# **ARCHITECTURAL CONCRETE FACADES**

Author: Cristina Bayo Porter  
Tutor: Antonio Aguado de Cea

## **ABSTRACT**

Every building needs a skin to protect it and bring it identity and differentiation from others. Architectural concrete facades offer a solution to these needs because, besides being a resistant material with exceptional insulation and durability qualities, they can provide excellent aesthetic performance.

The mechanical properties of concrete are widely known and studied, however, can provide aesthetic benefits often go unnoticed and are rarely studied. Therefore, this dissertation aims at deepening the architectural concrete, particularly its application in the realization of facades where in many cases the aesthetic is a basic section to be considered in the project.

To this end, the study has been divided into three main parts. The first part takes place a general state of knowledge on architectural concrete which includes its historical evolution as a building material, from its origins to its consolidation phase. In addition, we review the factors affecting the structure aesthetics and the procedures for achieving each of these factors.

The second part of the study consists of three chapters. They are the methods of performing architectural concrete facades: the in situ made facades, the facades made using prefabricated panels made in precast plant and prefabricated panels in situ. Each of these three chapters also includes representative facades. This analyzes the Palacio de Congresos de Cataluña in the chapter that discusses the architectural concrete facades made in situ. As a representative facades made using prefabricated panels are described the Business Administration College (ESADE) and the Ako-Suits Aparthotel. Finally we analyze the Physical Education Institute (INEFC) whose facade was made with prefabricated panels in situ.

Finally, the third part, we carried out a study of facades degradation. This last part consists of two chapters. The first analyzes the causes of degradation of the facades and the effects that appear in them. The other chapter, in turn, presents a statistical analysis performed whose main goal is to predict which lesions may appear in a facade based on the material they are made. The importance of this analysis lies in the completion of the concrete, compared to eight materials analyzed, is the material with a lower percentage of injury.

However, it is expected that this document will serve as a guide for those architects and engineers decide to include architectural concrete facades on their projects, showing the way forward, the obstacles that may arise and how to avoid them.



*“Lograr el todo con lo mismo...”*

Frank Lloyd Wright



## **AGRADECIMIENTOS**

Muchas han sido las personas que me han ayudado, apoyado y escuchado durante la realización de esta tesina. Me gustaría agradecer a todos ellos su intervención de uno u otro modo.

En primer lugar, quisiera mostrar mi agradecimiento a mi tutor, el Dr. Antonio Aguado, el permitirme realizar esta tesina y el haberme aconsejado y guiado durante este tiempo. Sus conocimientos y experiencia han sido de gran valor para enriquecer el estudio.

En segundo lugar quisiera agradecer a los profesionales Gerard Faneca de Escofet 1886 S.A., y a Felipe Pich-Aguilera, Teresa Batlle y Pau Casaldàliga del estudio de arquitectura Pich-Aguilera por la colaboración en la preparación del presente trabajo.

También me gustaría agradecer a Juan José Egozcue, Maribel Ortego y Camino Balbuena su ayuda durante el desarrollo del análisis estadístico.

Finalmente, agradecer a mis padres, Sebastià y Núria, mi hermana Laia y a Víctor el apoyo brindado a lo largo de estos años. Ellos me han enseñado a ser constante en mis propósitos, confiando en mí y haciéndome un poco más llano el camino.

A todos ellos, muchas gracias.



## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO GENERAL DEL CONOCIMIENTO.....</b>	<b>21</b>
2.1 INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 DEFINICIÓN DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO.....	22
2.3 REVISIÓN HISTÓRICA DEL HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO.....	22
2.3.1 Evolución del hormigón.....	22
2.3.2 Aparición del hormigón arquitectónico, consolidación y situación actual.....	23
2.4 PARÁMETROS GENERALES QUE INCIDEN EN LA ESTÉTICA.....	24
2.5 ASPECTOS GENERALES DEL HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO.....	24
2.5.1 Relieve.....	25
2.5.2 Textura.....	27
2.5.2.1 Procedimientos pasivos: texturas por encofrado.....	27
2.5.2.2 Procedimientos activos: texturas por tratamientos posteriores al desencofrado o desmolde.....	30
2.5.3 Color.....	32
2.5.4 Tonalidad.....	35
2.6 TECNOLOGÍA – ENCOFRADO Y DESENCOFRADO.....	36
2.6.1 Encofrado.....	36
2.6.2 Desencofrado.....	37
<b>CAPÍTULO 3. FACHADAS REALIZADAS IN SITU.....</b>	<b>39</b>
3.1 INTRODUCCIÓN.....	39
3.2 PALACIO DE CONGRESOS DE CATALUÑA.....	40
3.2.1 Situación y función de la obra.....	41
3.2.2 Características generales.....	41
3.2.3 Aspectos técnicos.....	42
3.2.4 Ejecución del hormigón.....	43
3.2.5 Puesta en obra del hormigón y encofrados.....	44

3.2.6 Incidencias.....	45
3.3 CIUDAD DE LA JUSTICIA DE BARCELONA.....	48
3.3.1 Situación y función de la obra.....	48
3.3.2 Características generales.....	49
3.3.3 Aspectos técnicos.....	50
3.3.4 Ejecución del hormigón .....	50
3.3.5 Puesta en obra del hormigón y encofrados .....	53
3.3.6 Incidencias.....	54
3.4 VENTAJAS.....	57
3.5 INCONVENIENTES.....	57
3.6 RECOMENDACIONES.....	58

## **CAPÍTULO 4. FACHADAS REALIZADAS CON PANELES**

<b>PREFABRICADOS EN PLANTA.....</b>	<b>61</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	61
4.2 EDIFICIO ESADE .....	62
4.2.1 Situación y función de la obra.....	62
4.2.2 Características generales.....	63
4.2.3 Aspectos técnicos.....	64
4.2.4 Ejecución de los paneles.....	64
4.2.5 Puesta en obra de los paneles.....	65
4.2.6 Incidencias.....	66
4.3 APARTHOTEL AKO-SUITS.....	70
4.3.1 Situación y función de la obra.....	70
4.3.2 Características generales.....	71
4.3.3 Aspectos técnicos.....	71
4.3.4 Ejecución de los paneles.....	72
4.3.5 Puesta en obra de los paneles.....	75
4.3.6 Incidencias.....	75
4.4 VENTAJAS.....	76
4.5 INCONVENIENTES.....	76
4.6 RECOMENDACIONES.....	77



## **CAPÍTULO 5. FACHADAS REALIZADAS CON PANELES**

<b>PREFABRICADOS IN SITU</b> .....	79
5.1 INTRODUCCIÓN.....	79
5.2 INSTITUTO NACIONAL DE EDUCACIÓN FÍSICA DE CATALUÑA.....	80
5.2.1 Situación y función de la obra.....	80
5.2.2 Características generales.....	81
5.2.3 Aspectos técnicos.....	81
5.2.4 Ejecución de los paneles.....	83
5.2.5 Puesta en obra de los paneles.....	83
5.2.6 Incidencias.....	84
5.3 VENTAJAS.....	86
5.4 INCONVENIENTES.....	86
5.5 RECOMENDACIONES.....	87

## **CAPÍTULO 6. DEGRADACIÓN DE FACHADAS**.....89

6.1 INTRODUCCIÓN.....	89
6.2 CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DE FACHADAS.....	89
6.2.1 Acciones climatológicas y contaminantes.....	90
6.2.2 Actuaciones humanas.....	90
6.3 EFECTOS PRODUCIDOS EN LAS FACHADAS.....	91
6.3.1 Eflorescencias y crecimientos biológicos.....	91
6.3.2 Grietas.....	92
6.3.3 Suciedades.....	93
6.4 MEDIDAS DE PREVENCIÓN, LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO.....	93

## **CAPÍTULO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS LESIONES**

### **DE FACHADAS EN FUNCIÓN DE SU MATERIAL Y ORIENTACIÓN**.....95

7.1 INTRODUCCIÓN.....	95
7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y DE LAS VARIABLES.....	95
7.3 AGRUPACIÓN DE LOS MATERIALES: ANÁLISIS CLÚSTER.....	97
7.3.1 ¿Qué es un análisis Clúster?.....	97
7.3.2 Resultados obtenidos.....	98

7.4 PRONÓSTICO DE LA LESIÓN: REGRESIÓN LOGÍSTICA.....	100
7.4.1 ¿Qué es una regresión logística?.....	100
7.4.2 Resultados obtenidos.....	100
7.5 CONCLUSIONES.....	103
 <b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.....</b>	 105
8.1 INTRODUCCIÓN.....	105
8.2 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	105
8.3 CONCLUSIONES GENERALES .....	106
8.4 NUEVAS TENDENCIAS.....	108
 <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	 111
 <b>ANEJO A. RESULTADOS ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	 115

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### ÍNDICE DE FIGURAS

#### CAPÍTULO 2. ESTADO GENERAL DEL CONOCIMIENTO

2.1/2 Encofrado con moldes de goma y su posterior desencofrado .....	25
2.3 Detalle del relieve de un muro de hormigón .....	26
2.4/5 Acabados de la fachada de hormigón pintado de la biblioteca de la universidad de Utrech.....	26
2.6 Paneles de hormigón moldeados con motivos geométricos tomando referencia los proyectos de los años 20 de Frank Lloyd Wright.....	26
2.7/8 Fachadas del conjunto residencial Pradolongo de Wiel Arets en Madrid.....	27
2.9 Burbujas superficiales por empleo de encofrado impermeable.....	28
2.10 Paneles con acabado texturizado por encofrado.....	29
2.11 Textura de una superficie de hormigón con áridos calizos y cemento gris .....	29
2.12 Textura lisa y textura obtenida por encofrado de tablas de madera en bruto .....	29
2.13 Textura obtenida por abujardado .....	30
2.14/15 Empleo del tratamiento de chorro de agua a presión y su posterior resultado...	31
2.16 Textura obtenida por pulido mecánico .....	31
2.17 Círculo cromático de Johann Wolfgang von Goethe.....	32
2.18 Pigmentos empleados en la obtención del hormigón coloreado.....	34
2.19 Influencia de la cantidad de pigmento en la intensidad del color.....	34
2.20 Probetas reservadas para su ensayo, conservadas en la cámara húmeda.....	35

#### CAPÍTULO 3. FACHADAS REALIZADAS IN SITU

3.1 Vista general del Palacio de Congresos de Cataluña.....	40
3.2 Plano de situación del palacio de Congresos de Cataluña.....	40
3.3 Variedad volumétrica del Palacio de Congresos de Cataluña .....	41
3.4 Detalle de los muros .....	42
3.5 Vista general de las lamas sobre el acceso principal .....	42
3.6 Marquesina de la entrada principal.....	43
3.7 Detalle de las superficies de las fachadas del Palacio de Congresos de Cataluña....	43
3.8 Esquina de las fachadas oeste y sur donde se aprecian los áridos grises utilizados..	44
3.9 Vista general donde se aprecia la modulación transversal con los 6 latiguillos.....	45
3.10 Discos de acero inoxidable sellando los latiguillos .....	45
3.11/12 Defecto por discontinuidad en la alineación de encofrados.....	45
3.13 Presencia de grietas en la superficie de las fachadas.....	46
3.14 Detalle de las grietas.....	46
3.15 Detalle de fisuración en forma de piel de cocodrilo.....	46

3.16/17/18 Regueros de suciedad producidos por acción del agua de lluvia .....	47
3.19/20 Suciedades por el efecto de evacuación del agua de lluvia sin y con línea de goterón, respectivamente.....	47
3.21 Ciudad de la Justicia de Barcelona .....	48
3.22 Plano de situación de la Ciudad de la Justicia de Barcelona .....	48
3.23 Edificios H, F y P (imagen tomada desde la calle Riera Blanca).....	49
3.24 Planta de hormigón mivil situada en la Ciudad de la Justicia de Barcelona .....	50
3.25 Aspecto visual de los áridos .....	51
3.26a34 Acabados superficiales de los 8 edificios .....	52
3.35 Vista parcial de los edificios H y C (ocre y teja).....	53
3.36 Vista parcial del edificio I de color verde.....	53
3.37 Cubilote de hormigonado .....	53
3.38 Detalle de la reja dispuesta en el cubilote.....	53
3.39 Encofrado metálico usado en obra.....	54
3.40/41 Manchas provocadas por mala limpieza del encofrado en el edificio C.....	54
3.42/43 Manchas más oscuros en los edificios C y F, respectivamente.....	55
3.44 Marca resultante del hormigón adherido al encofrado .....	55
3.45 Mancha por lavado de finos.....	55
3.46 Manchas en el edificio C .....	56
3.47/8 Defecto por discontinuidad en la alineación de encofrados .....	56
3.49 Junta en el edificio D (naranja).....	56
3.50 Coqueras visibles en la superficie de hormigón .....	57
3.51 Solape de encofrados de chapa metálica .....	58

#### CAPÍTULO 4. FACHADAS CON PANELES PREFABRICADOS REALIZADOS EN PLANTA

4.1 Fachada principal del edificio de ESADE .....	62
4.2 Plano de situación del edificio ESADE .....	62
4.3/4 Vistas de la fachada principal .....	63
4.5 Fachada lateral .....	63
4.6 Bajorrelieve en las aristas del panel .....	64
4.7 Efecto visual del bajorrelieve .....	64
4.8 Detalle de los paneles rosados .....	65
4.9 Detalle de los paneles de color marfil .....	65
4.10 Paneles con las cornisas integradas .....	65
4.11 Panel de la cornisa que sirve de encofrado a la viga superior .....	66
4.12 Grietas en las columnas .....	66
4.13 Grietas superficiales .....	66
4.14/15 Variación de tonalidad en paneles contiguos .....	67
4.16/17 Heterogeneidad textural en paneles marfil de una de las fachadas laterales .....	67
4.18 Nido de áridos gruesos en una arista de un panel rosado.....	68
4.19/20/21 Elementos aparecidos en la superficie.....	68

4.22 Suciedades en los salientes .....	69
4.23 Suciedades en paneles de esquina .....	69
4.24a27 Manchas por humedades y eflorescencias .....	69
4.28 Vista de la fachada del aparthotel Ako-suits .....	70
4.29 Plano de situación del edificio del aparthotel .....	70
4.30 Alzado de la fachada principal .....	71
4.31 Detalle de los paneles .....	72
4.32a47 Realización de los paneles prefabricados .....	73
4.48 Diferencias tonales entre paneles .....	75
4.49/50 Manchas en la superficie de los paneles .....	76
4.51 Transporte de paneles prefabricados .....	78

## CAPÍTULO 5. FACHADAS CON PANELES PREFABRICADOS IN SITU

5.1 fachada principal del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña.....	80
5.2 Plano de situación del INEFC .....	80
5.3 Fachada principal .....	81
5.4 Fachada posterior .....	81
5.5 Panel con alto y bajo relieve .....	82
5.6 Junta entre paneles .....	82
5.7 Detalle de la fachada sur .....	82
5.8 Detalle de la superficie de los paneles del edificio de INEFC .....	83
5.8/9/10 Mala distribución de los áridos en un panel .....	84
5.11/12 Eflorescencias observadas en los paneles del INEFC .....	85
5.13 Grietas en las juntas de los paneles .....	85
5.14 detalle y magnitud de las grietas .....	85
5.15 Regueros de suciedad en los paneles del INEFC .....	86

## CAPÍTULO 6. DEGRADACIÓN DE FACHADAS

6.1/2 Pintadas en fachadas de hormigón .....	90
6.3 Pintada parcialmente borrada .....	91
6.4 Eflorescencias presentes en la fachada de ESADE .....	92
6.5 Presencia de grietas en una fachada .....	92
6.6 Suciedades en una fachada de hormigón arquitectónico .....	93
6.7 Limpieza de una fachada de obra vista .....	94

## CAPÍTULO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS LESIONES DE FACHADAS EN FUNCIÓN DE SU MATERIAL Y ORIENTACIÓN

7.1 Esquema de resolución del problema planteado .....	97
7.2 Dendograma obtenido utilizando la distancia de Aichitson .....	98
7.3 Clústers obtenidos .....	99
7.4/5 Gráficos comparativos entre erosión y desprendimientos y entre grietas y suciedades .....	99

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO 2. ESTADO GENERAL DEL CONOCIMIENTO**

2.1 Efecto de cada tipo de armonía de colores .....	32
2.2 Pigmentos y colores que aportan .....	34

### **CAPÍTULO 3. FACHADAS REALIZADAS IN SITU**

3.1 Número de plantas y función de cada uno de los edificios de la Ciudad de la Justicia de Barcelona.....	49
3.2 Composición de los pigmentos utilizados .....	51

### **CAPÍTULO 4. FACHADAS CON PANELES PREFABRICADOS REALIZADOS EN PLANTA**

4.1 Tipología de paneles utilizados .....	72
---	----

### **CAPÍTULO 7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS LESIONES DE FACHADAS EN FUNCIÓN DE SU MATERIAL Y ORIENTACIÓN**

7.1 Modelo de la base de datos.....	95
7.2 Ajuste del modelo “Lesión ~ Material + Orientación”.....	100
7.3 Bondad del ajuste del modelo.....	101
7.4 Contraste de la razón de verosimilitud del modelo “Lesión ~ Material +Orientación”.....	101
7.5 Contraste de la razón de verosimilitud del modelo “Lesión ~ Material ”.....	101
7.6 Pronóstico de lesión para fachadas del conglomerado 1 .....	102
7.7 Pronóstico de lesión para fachadas del conglomerado 2 .....	102
7.8 Pronóstico de lesión para fachadas del conglomerado 3 .....	103

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

De forma involuntaria el hormigón evoca unas asociaciones que poco difieren de considerarlo un material puramente estructural. Sin embargo, no “sólo” se trata de un material duradero, barato, limpio, práctico y que requiere muy poco o nulo mantenimiento, sino que además ofrece numerosas posibilidades de diseño. Estas casi ilimitadas posibilidades de diseño raramente comparten un primer plano con los aspectos pragmáticos ampliamente conocidos. Tanto es así, que aunque existen múltiples ejemplos que demuestran la capacidad extraordinaria que posee el hormigón como material de acabado, sus prestaciones estéticas siguen siendo un campo muy amplio a explorar.

En las primeras épocas pues, se procedía al recubrimiento de las superficies de hormigón debido a su color gris y a las imperfecciones que presentaban. Así, la mayor parte de los edificios construidos con estructuras de hormigón, e incluso las murarías, no mostraban este material al exterior. Aún hoy el hormigón se asocia a las ideas de monotonía, pesadez, rudeza y fealdad.

A pesar de ello, como se ha comentado anteriormente, en este momento sería difícil presentar todas las variaciones y posibilidades de superficies de hormigón arquitectónico. El espectro es enorme; se puede disponer de este material con todo tipo de acabados. Así, jugando con los cuatro factores que inciden en el acabado (el relieve, la textura, el color y la tonalidad) se consigue un amplio abanico de combinaciones. Gracias a todas estas posibilidades, cada día son más los arquitectos e ingenieros que contemplan en sus proyectos la aplicación del hormigón arquitectónico.

Mediante este estudio se pretende realizar una introspección en las enormes posibilidades del hormigón como material de acabado, más concretamente, en su

aplicación en fachadas. Con ese objetivo se ha llevado a cabo el análisis de las diferentes vías mediante los cuales pueden realizarse fachadas de hormigón arquitectónico.

## 1.2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Los objetivos que persigue el presente estudio y que han sido el referente durante la realización del mismo son:

- Reflejar la evolución histórica del hormigón arquitectónico, desde sus orígenes a la actualidad, teniendo en consideración todos los aspectos que pueden haber influido en su evolución (aspectos sociales, técnicos e incluso económicos).
- Presentar los aspectos generales del hormigón arquitectónico, haciendo especial énfasis en los factores que inciden en la estética y en los procedimientos para lograr cada uno de ellos.
- Analizar los métodos de realización de fachadas de hormigón arquitectónico: las fachadas realizadas in situ y las realizadas con paneles prefabricados en planta o in situ, valorando cada uno de estos métodos.
- Sugerir algunas recomendaciones que deberían tomarse para cada tipología de fachada.
- Presentar y analizar diversas experiencias realizadas.
- Estudiar las principales causas de degradación de fachadas
- Valorar los resultados obtenidos en el análisis estadístico de las lesiones de fachadas en función de su material y su orientación.
- Contribuir al conocimiento de la aplicación del hormigón arquitectónico en fachadas y ayudar a extender su uso.
- Ser un documento de ayuda y guía para aquellos arquitectos e ingenieros que decidan introducir fachadas de hormigón arquitectónico en sus proyectos, mostrándoles el camino que deben seguir, los obstáculos que pueden encontrarse y cómo evitarlos.

Para la consecución de estos objetivos, la metodología seguida en la elaboración de este documento ha sido la siguiente:

En primer lugar se efectuó una recopilación de información sobre el hormigón arquitectónico buscando en diversas fuentes, libros, artículos y autores. A continuación, se mantuvieron reuniones con el estudio de arquitectura Pich-Aguilera y con la empresa Escofet 1886 S.A. donde se me facilitó la visita a su planta prefabricadora, pudiendo observar los trabajos que estaban realizando.

Tras la revisión del estado de conocimiento y las reuniones mantenidas, se realizó un estudio de campo de las experiencias realizadas previamente seleccionadas por su representatividad. Así se visitaron y analizaron las fachadas del Palacio de



Congresos de Cataluña, de la Ciudad de Justicia de Barcelona, de la Escuela Superior de Administración y Dirección de Empresas, la del Aparthotel Ako-Suits u del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña.

Asimismo se procedió a la preparación del estudio estadístico con la ayuda de los profesores del departamento de Matemática Aplicada III, Juan José Egozcue, Maribel Ortego y Camino Balbuena. Una vez realizado el análisis se analizaron los resultados y extrajeron las conclusiones.

La estructura del estudio consta de las siguientes partes:

- En el presente capítulo se realiza una introducción y se definen los objetivos y metodología del estudio.
- El segundo capítulo se presenta el estado general del conocimiento del hormigón arquitectónico y de su aplicación en fachadas.
- En el tercer capítulo se estudian las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas in situ.
- El cuarto capítulo presenta las fachadas realizadas con paneles prefabricados en planta.
- En el quinto, se tratan las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas con paneles prefabricados in situ.
- En el sexto capítulo se estudia la degradación de fachadas, analizando sus causas y los efectos producidos.
- El séptimo capítulo presenta el análisis estadístico llevado a cabo. Asimismo, se exponen los resultados obtenidos en él, analizando con el fin de llegar, posteriormente, a unas conclusiones.
- Finalmente en el último capítulo se recogen las conclusiones extraídas del estudio.



## CAPÍTULO 2

### ESTADO GENERAL DEL CONOCIMIENTO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

Probablemente el hormigón sea el material constructivo que deja más impronta en la imagen de nuestro entorno. Sus cualidades mecánicas son ampliamente conocidas y estudiadas, sin embargo, las prestaciones estéticas que puede ofrecer suelen pasar desapercibidas y no suelen ser objeto de estudio. A pesar de todo, desde su aparición en el siglo XX, el hormigón arquitectónico ha experimentado una gran evolución. Así, en este capítulo se efectúa un estado general del conocimiento del hormigón arquitectónico para revisar cómo se ha desarrollado en los últimos años, los conocimientos adquiridos y las expectativas de futuro para este material.

El capítulo está estructurado en cinco apartados. En el primero, debido a la divergencia de opiniones existente sobre el concepto *hormigón arquitectónico*, se define qué se entenderá por *hormigón arquitectónico* en la presente tesina.

En el segundo apartado se realiza una revisión histórica del hormigón arquitectónico; desde los orígenes del hormigón en la edad antigua, pasando por su evolución hasta el surgimiento del hormigón armado en la segunda mitad del s. XIX y, finalmente, centrándose en la aparición del hormigón arquitectónico en el s. XX, su consolidación y situación actual.

El objetivo del tercer apartado es exponer aquellos parámetros generales que inciden en la estética, detallando los factores que hay que tener en cuenta a la hora de proyectar cualquier estructura.

Centrándose ya en el hormigón arquitectónico, objeto de estudio de la presente tesina, en el cuarto apartado se revisan los factores que inciden en el acabado. Así, se revisan relieve, textura, color y tonalidad que pueden proporcionarse a las superficies de hormigón arquitectónico.

Por último, en el quinto apartado se detallan las tipologías de encofrados que resultan de interés en la consecución de superficies de hormigón arquitectónico de buena calidad, el proceso de desencofrado y el uso de desencofrantes.

## 2.2 DEFINICIÓN DE *HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO*

En la bibliografía consultada no existe un criterio común sobre qué se entiende por hormigón arquitectónico, visto y visible y cuáles son las diferencias entre ellos.

Según algunos autores (Trub, 1977; Aguado-Josa, 1993; Peck, 2007), se considera que tanto hormigón arquitectónico como hormigón visto designan lo mismo, y se diferencian de hormigón visible. Otros autores (ACHE, 2002) en cambio, denotan que no debe confundirse la expresión hormigón arquitectónico con la de hormigón visto, siendo éste último un término más ambiguo y que engloba desde hormigones arquitectónicos hasta hormigones visibles. En todos los casos, se diferencia claramente el concepto de hormigón arquitectónico y/o visto del de hormigón visible.

En esta tesina se va a denominar como **hormigón arquitectónico (o visto)** a aquel hormigón cuyas diferentes soluciones de textura, relieve, color y tonalidad pretenden conseguir un aspecto estético definido, es decir, se usará el término hormigón arquitectónico para definir el hormigón convencional en el que los requisitos estéticos tienen una importancia fundamental entre las características exigidas.

En la misma línea, el ACI (American Concrete Institute), en su comité 303, enunció la siguiente definición:

*“El hormigón arquitectónico es aquel que queda expuesto como superficie interior o exterior dentro de la estructura terminada, contribuye definitivamente a su carácter visual y está diseñado especialmente como tal en los planos y especificaciones del proyecto”,*

como se recoge en el Congreso de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (2006).

Finalmente, por **hormigón visible** se entenderá aquel hormigón que corresponde a partes de una estructura que en la pasada arquitectura habrían estado ocultas o revestidas. Es decir, superficies de hormigón que, sin ser revestidas, no requieren de una calidad estética acusada y en las que no se aplica ningún acabado.

## 2.3 REVISIÓN HISTÓRICA DEL *HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO*

En este apartado se realiza una breve revisión histórica del hormigón, la evolución sufrida desde su origen y la aparición, consolidación y situación actual del hormigón arquitectónico.

### 2.3.1 Evolución del hormigón

La construcción en hormigón encuentra su origen en la edad antigua. Por aquel entonces, como refleja Peck (2007), se descubrió y se desarrolló un material

constructivo mineral que endurecía hidráulicamente. Asimismo, está documentado que los romanos utilizaban un material con propiedades similares: el *opus caementitum*. Su uso se extendió rápidamente, pues se trataba de un material duradero y fácil de producir. Acueductos, muros de edificaciones, cimentaciones e incluso puentes y palacios son algunos ejemplos descubiertos de su aplicación.

Con la extensión del dominio romano por toda Europa, los métodos de construcción y el uso del *opus caementitum* fueron llegando a todo el continente. A pesar de todo, la proliferación de este material se vio frenada por la dificultad en encontrar las materias primas adecuadas, como la cal y las tierras hidráulicamente activas, en todos los asentamientos. En consecuencia, durante los siglos posteriores gran parte de los conocimientos adquiridos hasta entonces se perdieron.

El nacimiento de una nueva era de la construcción en hormigón no se produciría hasta el desarrollo de los primeros cementos en el siglo XVIII. Aun así, no fue hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando apareció el hormigón armado. El descubrimiento de este material compuesto fue atribuido a Lamblot, quien en la Exposición Universal celebrada en París en 1855 presentó un barco de carcasa metálica recubierto de hormigón (Murcia et al., 1993). Sin embargo, otros autores (Peck, 2007; Fernández), atribuyen la invención del hormigón armado a Joseph Monier. Monier (1823-1906), jardinero francés de Versalles, patentó el sistema en 1868 para la realización de macetas y macetones, depósitos y losas.

A finales del siglo XIX se produjo un rápido desarrollo de la construcción con hormigón armado. Mientras que los materiales hasta entonces de uso corriente, como la piedra y la madera se asociaban a grandes monumentos, y el acero se asociaba a costes elevados, el hormigón armado ofreció tanto a arquitectos como ingenieros una nueva libertad en el proyecto. Consecuentemente, el uso de este material en todo tipo de construcciones se intensificó, convirtiéndose en una constante en la industria de la construcción mundial a principios del siglo XX.

### **2.3.2 Aparición del hormigón arquitectónico, consolidación y situación actual**

Al principio, el hormigón solía ocultarse tras otros materiales debido a su color gris, sus terminaciones superficiales y a la tradición existente. Puentes y edificaciones de hormigón eran revestidos por piedras simulando ser productos de mampostería. De este modo, en las primeras épocas, al hormigón no se le requería calidad estética alguna.

Posteriormente el hormigón fue progresivamente apareciendo en superficie y, en consecuencia, se le comenzaron a pedir requisitos estéticos. Esto fue debido, como se explica en el artículo de Aguado y Josa (1993), al aumento del coste de la mano de obra (lo que aconsejaba minimizar operaciones y, por tanto, dejar de revestir las superficies de hormigón) y a la aparición del hormigón pretensado que permitía realizar estructuras más esbeltas.

Frente al nuevo requisito estético del hormigón, se logró una ejecución minuciosa, casi artesanal, del mismo logrando notables resultados. No obstante, las construcciones de la década de 1960 y 1970 pusieron de manifiesto graves deficiencias

de diseño y construcción, traducándose en problemas de durabilidad de numerosas estructuras de hormigón visto, que exigieron un replanteo de los códigos de buenas prácticas. A partir de entonces, arquitectos como Le Corbusier, Mies van der Rohe y Louis I. Kahn (Peck, 2007), integraron el hormigón arquitectónico en sus proyectos.

Desde entonces, las superficies de hormigón visto como elemento de diseño arquitectónico siguen estando de actualidad. De hecho, ningún otro material constructivo ha alcanzado un uso tan extendido en arquitectura e ingeniería como el hormigón.

## 2.4 PARÁMETROS GENERALES QUE INCIDEN EN LA ESTÉTICA

La estética de una estructura se ve condicionada fundamentalmente por tres factores, que deben ser considerados a la hora de proyectarla: su diseño formal, el equilibrio con el entorno y sus acabados.

A pesar de la importancia de los acabados, desde el punto de vista estético, es mucho más interesante que la estructura esté equilibrada en sí misma y en su entorno. Así, es prácticamente imposible corregir un diseño formal erróneo mediante un buen acabado, mientras que un acabado imperfecto puede ser contrarrestado por un buen diseño formal. Igualmente, cabe destacar la posibilidad de actuar posteriormente sobre el acabado, mejorando la estética de la estructura (Aguado-Josa, 1993).

Asimismo, se debe tener presente que la forma permanece, viniendo determinada, en muchas ocasiones, por la función de la estructura. En la misma línea, está basado el principio funcionalista asociado a la arquitectura y diseño moderno del siglo XX bajo el lema *La forma sigue a la función* (frase acuñada por Sullivan en su artículo *The tall office building artistically* publicado en 1896), donde se dice que la forma de todo edificio u objeto debiera estar basada primordialmente en su función.

Además, a pesar de la existencia de modas, una adecuada asociación de los tres factores puede dar como resultado estructuras con una estética intemporal. Otro principio a tener en cuenta es que las estructuras, al ser elementos visuales no ajenos al espectador, influyen decisivamente en el estado de ánimo de cuantos las contemplan, no debiéndose de olvidar, por tanto, términos como belleza, proporción e integración en el entorno frente a los ya considerados calificativos de resistencia o estática. Así se debe lograr un diseño que conjugue la visión técnica con el lenguaje plástico (Sobrino, 2009).

## 2.5 ASPECTOS GENERALES DEL HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO

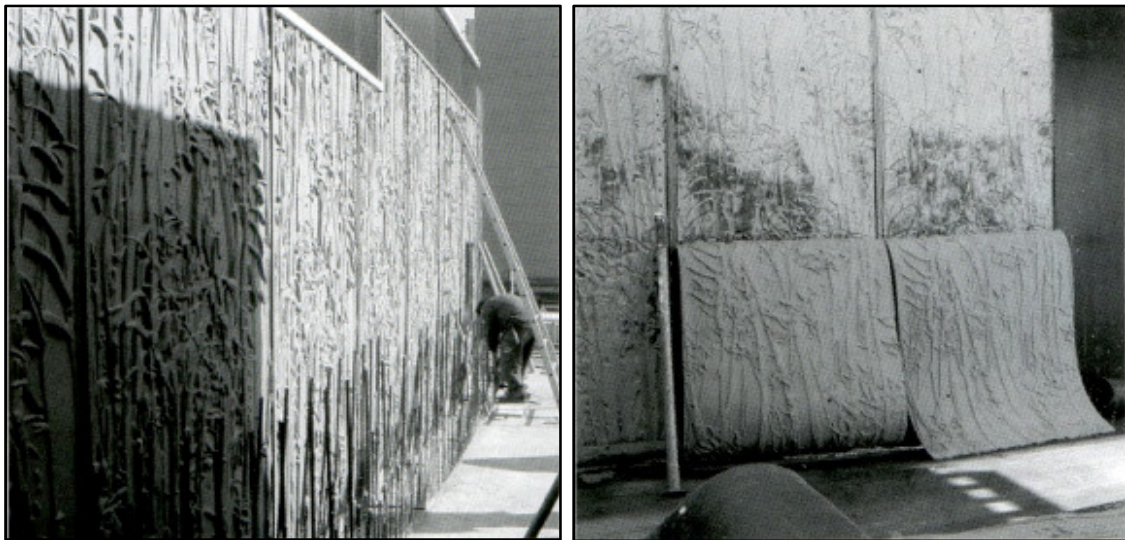
Los factores que inciden en el acabado, como detallan Aguado y Josa (1993), se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: relieve (o formas), textura, color y tonalidad. Jugando con todas las posibles combinaciones que ofrecen estos cuatro grupos se consigue un amplio abanico de soluciones a gusto de quien lo proyecte.

### 2.5.1 Relieve

A lo largo de la historia para la decoración de los paramentos externos de los edificios y, en ocasiones, de las obras civiles se empleaban relieves “añadidos” a éstos; hoy en día se puede integrar el relieve utilizando el mismo material y construyéndolo al mismo tiempo. De este modo, el relieve pierde parte de su identidad propia para generar una sola identidad con el elemento de hormigón.

El relieve de la superficie del hormigón está producido por las contrahuellas que se dejan en los encofrados para que se refleje la consiguiente huella en el elemento. En el apartado 2.6 de esta tesina se tratará con detenimiento las tipologías de encofrados que resultan de interés en la consecución de superficies de hormigón arquitectónico de buena calidad.

Asimismo, a parte de los encofrados usuales, existen muchas otras opciones para producir un determinado relieve a una estructura de hormigón, una de ellas consiste en el empleo de moldes de caucho mediante los cuales se transmite el relieve al hormigón. Las figuras 2.1 y 2.2 muestran dicha opción, cuyo resultado puede verse en las figuras 2.4 y 2.5.



*Figura 2.1 y 2.2. Encofrado con moldes de goma y su posterior desencofrado (Peck, 2007).*

La razón de ser para proporcionar un relieve al hormigón puede ser debida a aspectos emblemáticos, aspectos estéticos o bien para prevenir ciertas actuaciones humanas que degradan la misma.

La primera es una opción frecuente en edificios donde se quiere destacar aspectos y/o emblemas asociados a la imagen de la empresa o artísticos, siendo la reproducción de letras una de los procedimientos más habituales. Asimismo, en elementos que presentan una gran superficie, el relieve puede aplicarse únicamente con fines estéticos, ya que éste permite romper el plano y, al marcar dibujos, da la posibilidad de jugar con claros y sombras o con las formas, consiguiendo de este modo elementos integradores del entorno. Finalmente, la última opción persigue, a través de la aplicación de relieve, disminuir el riesgo de pintadas, ya que las superficies completamente lisas y claras invitan a pintar en ellas.

A pesar de todas las grandes posibilidades y las ventajas de carácter estético comentadas de la utilización de relieves, este tipo de actuación puede presentar ciertos inconvenientes ya sea en relación a la durabilidad o a la formación de depósitos de suciedad.

Desde el punto de vista de la durabilidad el relieve puede disminuir los espesores de recubrimiento, disminuyendo, por tanto, la protección frente a fenómenos de corrosión. Así, es de especial importancia mantener, tras la aplicación de relieve al elemento, los espesores mínimos especificados.

Asimismo, cierta disposición del relieve puede generar depósitos de suciedad, factor que, además de incidir lógicamente en el aspecto estético del elemento de hormigón, puede repercutir en la durabilidad de éste. Se recomienda pues, que las huellas marcadas no presenten una dirección principal horizontal, prefiriendo los planos oblicuos o verticales de cara a dificultar la formación de depósitos.

Las figuras que se presentan a continuación muestran varias opciones de relieve. Así, en la figura 2.3 se observa un muro de hormigón dotado de un relieve vertical, rompiendo de esta manera la monotonía y disminuyendo el riesgo de pintadas. Las figuras 2.4 y 2.5 corresponden a la fachada de la universidad de Utrech. Finalmente, en las figuras 2.6, 2.7 y 2.8 se muestran fachadas de hormigón arquitectónico realizadas con paneles prefabricados moldeados con relieves geométricos.



*Figura 2.3. Detalle del relieve de un muro de hormigón*

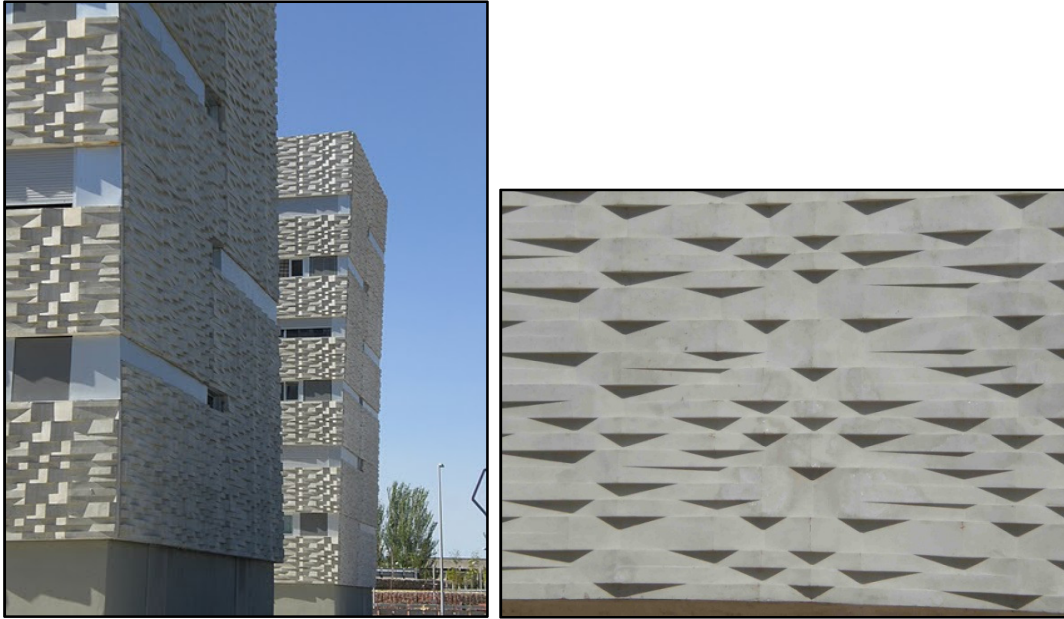


*Figuras 2.4 y 2.5. Acabados de la fachada de hormigón pintado de la biblioteca de la universidad de Utrech.*



*Figura 2.6. Paneles de hormigón moldeados con motivos geométricos tomando referencia los proyectos de los años 20 de Frank Lloyd Wright*





*Figuras 2.7 y 2.8. Fachadas del conjunto residencial Pradolongo de Wiel Arets en Madrid.*

### **2.5.2 Textura**

La razón de ser de resaltar la textura del hormigón reside en la estética. Cabe destacar la importancia del punto de vista del usuario: al tratarse de una actuación del orden de milímetros, a la hora de resaltar la textura de un elemento, pierde todo sentido realizarlo cuando el usuario percibe la estructura a gran velocidad o a cierta distancia. Así, como detalla Calavera et al. (1999), a distancias cortas la textura es apreciable, mientras que a mayores distancias sólo es apreciable el tono de color conseguido por la textura, que muchas veces no difiere de manera importante del original del hormigón.

La textura, además, como explica C. Ferrer (Congreso Internacional de Arquitectura Blanca, 2004), proporciona una gran calidad material, al tiempo que permite una variación en la percepción, dependiendo del ángulo de incidencia de la luz, de su intensidad y del punto de vista.

La textura superficial de un elemento de hormigón arquitectónico puede obtenerse por distintos procedimientos pero esencialmente, (Aguado-Josa, 1993; Muelas-Romero, 1993), todos ellos pertenecen a uno de los grupos siguientes: procedimientos pasivos o activos.

Se entiende como procedimiento pasivo aquel mediante el cual la textura se obtiene por encofrado; resultando pues ésta el reflejo directo del encofrado. Por procedimiento activo se entiende aquel mediante el cual la textura se obtiene mediante tratamientos posteriores al desencofrado.

#### **2.5.2.1 Procedimientos pasivos: texturas por encofrado**

El acabado superficial de los hormigones obtenido mediante procedimientos pasivos depende de la forma y naturaleza de los encofrados, siendo esencial su elección

y su correcto uso para un determinado acabado superficial deseado. Así, según el encofrado que se utiliza (liso o rugoso, permeable o impermeable, de madera, metal o plástico, entre otros) será necesario tener en cuenta ciertas dificultades que cada uno de ellos conlleva.

Como se ha mencionado anteriormente, en el apartado 2.6 del presente capítulo se detallan las tipologías de encofrados que resultan de interés en la consecución de superficies de hormigón arquitectónico de buena calidad.

Por ejemplo, los encofrados impermeables (como los de acero), como muestra la figura 2.9, producen un gran número de burbujas superficiales, teniendo que aminorar este problema a través de una buena vibración, si bien, una sobrevibración puede producir defectos superficiales conocidos como transparencia de los áridos. Por otro lado, los encofrados permeables o absorbentes proporcionan una superficie vista de hormigón exenta de huecos superficiales.



*Figura 2.9. Burbujas superficiales por empleo de encofrado impermeable*

Asimismo, cuando la textura se obtiene por procedimientos pasivos, un aspecto especialmente a tener en cuenta es la posible aparición de lechada en las juntas entre encofrados (Aguado-Josa, 1993). Por ello, deberá procurarse una ajustada unión entre encofrados para evitar la pérdida de lechada. Otro de los aspectos a tener en cuenta es la formación de coqueras en la superficie o la mala imprimación del microrrelieve que, como se ha comentado anteriormente, se evitarán con una óptima consistencia y compactación del hormigón.

Además, es importante apuntar que cuando una parte permanece encofrada más tiempo que otra, siendo ambas del mismo elemento, presenta a posteriori un color más oscuro. De esta manera, para evitar una defectuosa terminación de la superficie de hormigón, se deberán vigilar los tiempos de encofrado.

A continuación, en las figuras 2.10, 2.11 y 2.12, se presentan algunos ejemplos de acabados superficiales obtenidos por procedimientos pasivos, es decir, por encofrado:





Figura 2.10. Paneles con acabado texturizado por encofrado (ANfhARQ, 2007) .



Figura 2.11. Textura de una superficie de hormigón con áridos calizos y cemento gris (Peck, 2007).



Figura 2.12. Textura lisa y textura obtenida por encofrado de tablas de madera en bruto (Peck, 2007).

### 2.5.2.2. Procedimientos activos: texturas por tratamientos posteriores al desencofrado o desmolde

En las texturas obtenidas mediante tratamientos de la superficie del hormigón, se elimina generalmente la capa externa del mismo, aflorando en tales casos el árido grueso a la superficie. Así, los áridos adquieren una importancia transcendental en el aspecto final del hormigón, habiéndose de tener en cuenta su color, su forma (redondeada, procedente de machaqueo, etc.) y su textura (opaca, cristalina).

Por otro lado, los áridos deberán tener características físico-químicas adecuadas al tratamiento activo al que se someta el hormigón, para que en la eliminación de la lechada superficial no se degraden significativamente, como indican Aguado y Josa (1993).

Además, dependiendo del tratamiento al que se someta la superficie, la exposición del árido será más o menos profunda (Calavera et al., 1999), ésta no debe ser superior a  $1/3$  del diámetro medio del árido grueso o a  $1/2$  del diámetro del árido de menor tamaño sin incluir la arena.

Por todo ello, hay que llamar la atención que la textura final que se le otorgará a la superficie del hormigón debe fijarse en proyecto para, así poder realizar la elección adecuada de todos los factores que intervienen en el resultado final.

En cualquier caso se recomienda que, antes de realizar cualquier tratamiento sobre la superficie del hormigón, se realicen pruebas a escala real, e incluso someterlas a la misma orientación que la estructura final para apreciar el efecto de la luz sobre la misma.

A continuación se exponen brevemente algunas de las técnicas más utilizadas, muchas de ellas detalladas por Muelas y Romero (1993) y Calavera et al. (1999), para la consecución de texturas concretas:

#### Abujardado manual o mecánico

Consiste en la aplicación, por impacto, de la cabeza de una bujarda. Para poder aplicar la bujarda se recomienda que los hormigones estén fabricados con áridos rodados, no muy duros y con una mínima cantidad de arena, utilizando una granulometría continua. La operación de abujardado debe hacerse transcurridos, como mínimo, 10 días del hormigonado, dependiendo de la dureza superficial del hormigón.



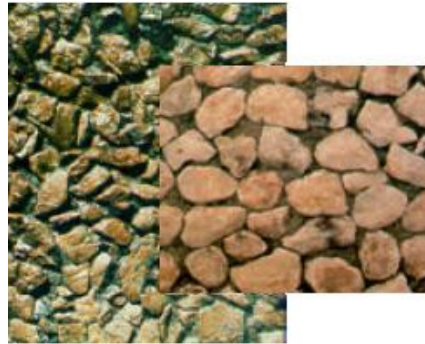
*Figura 2.13.  
Textura obtenida por abujardado  
(Peck, 2007).*



### Chorro de agua y/o arena a presión (chorro abrasivo)

Este método consiste en la aplicación, bajo presión, de un producto abrasivo (agua o arena) sobre la superficie del hormigón.

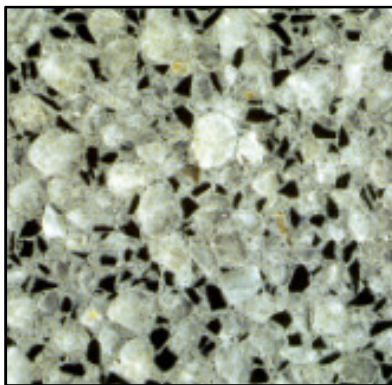
Cualquiera de estas dos técnicas puede aplicarse independientemente del tiempo transcurrido tras el desencofrado, si bien resulta difícil y, por consiguiente, más costoso, cuando la superficie presenta un mayor endurecimiento.



*Figuras 2.14 y 2.15. Empleo del tratamiento de chorro de agua a presión y su posterior resultado.*

### Pulido mecánico

Consiste en el tratamiento, mediante un disco con partículas abrasivas, de la superficie del hormigón. En los paramentos verticales resulta un procedimiento costoso y de difícil realización.



*Figura 2.16.  
Textura obtenida por pulido mecánico  
(Peck, 2007).*

### Inhibidores superficiales de fraguado y limpieza posterior con chorro de aire

Este tratamiento se basa en la aplicación de agua, en forma de lluvia que bloquea el fraguado de una lámina de hormigón de espesor controlable durante un tiempo determinado. Transcurrido este tiempo, se aumenta progresivamente la presión del lavado con lo que se logra eliminar esa fracción retardada y dejar a la vista el árido anclado a la matriz de hormigón.

### Ataque por ácidos en disolución

Consiste en la aplicación de una solución de ácido clorhídrico sobre la superficie del hormigón endurecido. Dicho tratamiento sólo puede realizarse en hormigones

fabricados con áridos silíceos (cuarzo y granito), pues los calcáreos pueden decolorarse o verse fuertemente atacados por el ácido.

### 2.5.3 Color

La razón de ser de dar color al hormigón es puramente estética. Así se abarca un sinfín de posibilidades: desde la policromía preferida por Walter Gropius, fundador de la Escuela de Diseño, Arte y Arquitectura La Bauhaus, al color blanco de Richard Meier, arquitecto estadounidense autor de, por ejemplo, el Museo de Arte Contemporáneo de Barcelona (MACBA).

En cuanto a la utilización de diferentes colores en un mismo elemento, como explica detalladamente González (2005), se conocen distintos tipos de armonías de las cuales destacan las armonías de contraste complementario, armonías por analogía y las armonías monocromáticas. Todas ellas son combinaciones de los colores primarios: rojo, amarillo y azul, y de los secundarios: verde, violeta y naranja, presentes en el círculo cromático. La figura 2.17 muestra el círculo cromático de Johann Wolfgang von Goethe, publicado en su libro *Teoría de los Colores* (en alemán *Zur Farbenlehre*) escrito en 1810.

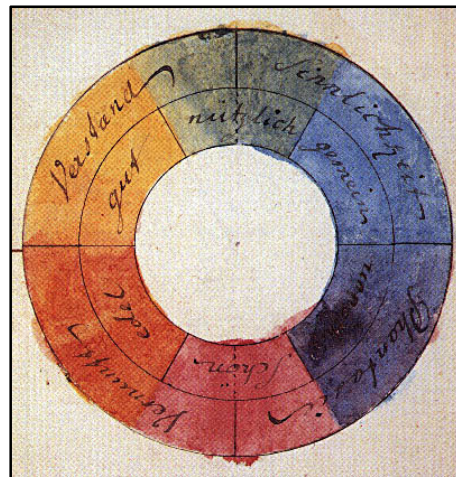


Figura 2.17. Círculo cromático de Johann Wolfgang von Goethe

En las armonías de contraste complementario se combinan colores opuestos en el círculo como podrían ser el verde y el rojo, en la armonía por analogía (a medio camino entre la armonía de contraste complementario y la monocromática) se combinan colores contiguos en el círculo, como el verde y el azul o el naranja y el amarillo, y, finalmente, en la armonía monocromática se emplea el mismo color en diferentes matices de claros y oscuros.

Armonía de colores	Efecto
Armonía de contraste complementario	Estimulante
Armonía por analogía	Sutil, atmósfera reposada
Armonía monocromática	Máxima sensación de espacio y unidad

Tabla 2.1. Efecto de cada tipo de armonía de colores. (Elaboración propia)

En el uso arquitectónico e ingenieril, cada creación en color supone un preciso proceso compositivo, pues los constituyentes del hormigón (áridos, cemento y aditivos) pueden causar variaciones en su color. A continuación se comentan los aspectos más destacados:

### Áridos

De entre las fracciones de árido grueso y árido fino son éstas últimas las que tienen mayor influencia sobre el color del hormigón.

Por lo que respecta al árido grueso, si éste se destina a la fabricación de hormigón con cemento blanco, es muy conveniente que posea una tonalidad clara y homogénea por la posible aparición de sombras en la superficie. Asimismo, como refleja F. Kind-Barkauskas (Congreso Internacional de Arquitectura Blanca, 2004), la influencia del color de los áridos es más evidente si la superficie de hormigón va a recibir un tratamiento posterior al desencofrado que haga aflorar el árido a la superficie.

La granulometría de los áridos debe ser lo más uniforme posible en las distintas amasadas para evitar cambios en la trabajabilidad que posteriormente pueden ocasionar variaciones en el color y la textura. Y a su vez, es más recomendable una granulometría continua, pues en una discontinua con falta de fracción gruesa de arena y fracción fina de grava pueden presentarse variaciones de color debido al fenómeno de la transparencia de los áridos.

### Cemento

El cemento es otro de los componentes del hormigón con más relevancia a la hora de aportar color. Para la elección del tipo de cemento, gris o blanco, debemos tener presente qué coloración se desea obtener. Así, para obtener coloraciones fuertes puede emplearse cemento gris, mientras que para obtener coloraciones claras debe emplearse cemento blanco. A pesar de todo, en muchas ocasiones se opta por emplear cemento blanco.

Tal como indican Aguado y Josa (1993), las cantidades de cemento por metro cúbico en el hormigón deberán estar alrededor de los 300 Kg debido a la necesidad de que exista suficiente cantidad de fracción fina para conseguir un buen acabado. Pérez (1991) detalla además que, cuanto menor sea el contenido de cemento, será necesario más pigmento para obtener un mismo tono, a diferencia de las dosificaciones más ricas en cemento (de aproximadamente 350 kg/m<sup>3</sup> de hormigón) donde para lograr dicho tono deberá ampliarse menor cantidad de pigmento.

### Aditivos

Existen distintos aditivos que pueden provocar cambios en la coloración del hormigón como los aceleradores y retardadores de fraguado, los ocluidores de aire, los plastificantes y las adiciones puzolanas y minerales. Sin embargo, el principal aditivo para otorgar una coloración concreta al hormigón son los pigmentos.

Los pigmentos son finas partículas de polvos, químicamente inertes, insolubles en su medio y que dotan de color al material al cual se añaden (Pérez, 1991).

Se puede establecer la clasificación de los pigmentos en dos grandes grupos: los pigmentos naturales (o orgánicos) y los sintéticos (o inorgánicos). Asimismo al tratarse de un aditivo, han de cumplir con lo establecido para éstos por las diferentes reglamentaciones. Una de las limitaciones establecidas reside en la máxima adición de pigmentos al 10% en peso de cemento.

La carta de colores que ofrece el uso de pigmentos es muy amplia. En la siguiente tabla se muestran algunos de los pigmentos más importantes, tratados ampliamente (Pérez, 1991), y el color que aportan:

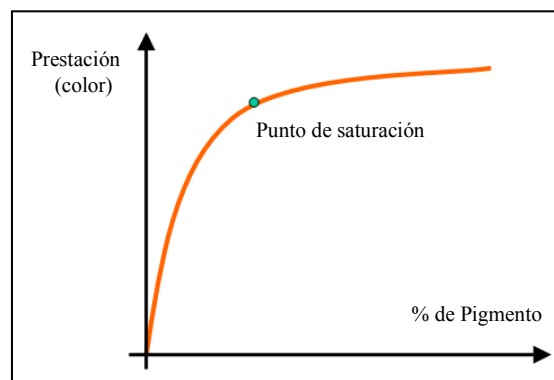
<i>Pigmento</i>	<i>Color obtenido</i>
Óxidos ferrosos y férricos	Negro, Rojo, Amarillo y Ocre
Óxido de cromo	Verde
Óxido de cobalto	Azul

*Tabla 2.2. Pigmentos y colores que aportan*



*Figura 2.18. Pigmentos empleados en la obtención del hormigón coloreado*

Aguado y Josa (1993) destacan el efecto de la dosificación de pigmento sobre la intensidad de color obtenida. En la mayoría de casos, se utiliza entre un 2 y un 5% de pigmento sobre peso de cemento, variando lógicamente el nivel de color en función de la cantidad de pigmento. Además, los pigmentos presentan un punto de saturación que implica que a partir de una cierta cantidad de pigmento en la mezcla de hormigón, la intensidad de color alcanzada no aumenta. Así, por ejemplo, como detallan Calavera et al. (1999), los pigmentos sintéticos presentan una tonalidad apreciable con adiciones entre el 2 y el 4% en peso de cemento, mientras que la saturación del color se da en torno al 7%.



*Figura 2.19. Influencia de la cantidad de pigmento en la intensidad del color (Martins, 1996).*



Así, como hemos visto, el abanico de colores que puede proporcionarse al hormigón es muy amplio. La figura 2.20 muestra la diversidad obtenida en la coloración de probetas de hormigón para su posterior ensayo.



*Figura 2.20.  
Probetas reservadas para su ensayo  
conservadas en la cámara húmeda.  
(Pérez Luzardo, 1991)*

#### 2.5.4 Tonalidad

Dentro de un mismo color, la tonalidad nos permite un nuevo grado de libertad. Sobre la tonalidad no sólo afectan los factores comentados en el apartado anterior, sino que también hay que tener presentes (Aguado-Josa, 1993):

- Materiales constituyentes
- Dosificación del hormigón
- Geometría de los elementos
- Tiempo de amasado
- Tipo de compactación
- Condiciones termohigrométricas durante la ejecución y el curado
- Proceso de desencofrado.

La relación agua-cemento es determinante en la tonalidad debido a que las pequeñas partículas de cemento pigmentado cambian de color por la acción química del agua, rodeándose de un gel semitransparente de color blanco-lechoso que modifica el color original, siendo la causa del progresivo cambio de intensidad de color que no se puede considerar estable mientras que la hidratación del cemento de la masa no se complete. A mayor cantidad de agua los tonos son más claros y luminosos, ello es debido a un empalidecimiento por aumento de la porosidad capilar superficial, cuyos poros reflejan la luz incidente, multiplicándola y originando un aspecto más brillante.

Cabe destacar que puede resultar complicado mantener la uniformidad en la tonalidad. Un ejemplo de dicha dificultad la encontramos en la aplicación de algunos tratamientos como el de anti-pintadas. Así mismo, la climatología también influye en la uniformidad puesto que se puede obtener diferente resultado en cuanto a tonalidad si se hormigona en diferentes fechas.

## 2.6 TECNOLOGÍA - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO

El objetivo de este apartado es detallar las tipologías de encofrados más utilizadas con las que se consiguen acabados de hormigón arquitectónico de buena calidad y aportar las nociones básicas sobre el proceso de desencofrado y el uso de desencofrantes.

### 2.6.1 Encofrado

El encofrado en las estructuras de hormigón arquitectónico presenta una gran trascendencia pues su elección y diseño afectan al aspecto del hormigón. Así, adquieren gran importancia las características y el material de los encofrados en el acabado final de las superficies de hormigón.

Algunas de las propiedades con mayor afectación son la estanquidad, la dureza, permeabilidad, envejecimiento y la textura superficial del encofrado (Calavera et al., 1999). La falta de estanquidad, por ejemplo, puede provocar pérdidas de lechada; la dureza del encofrado, en cambio, está relacionada con la vida útil del mismo y la permeabilidad influye en el color final del hormigón, siendo éste más claro cuanto mayor impermeabilidad tenga el encofrado. Por otro lado, el envejecimiento de los encofrados también afecta al color, y resulta especialmente relevante en los de madera, causando un oscurecimiento de los hormigones en los que se aplican. Finalmente, cuanto más rugosa sea la textura superficial del encofrado y más capacidad de absorción presente, la distribución de las burbujas de aire será más regular, siendo menos apreciables como defecto.

Dentro de los materiales más utilizados destacan la madera, el contrachapado, el acero, los plásticos y el yeso.

Con los encofrados de madera la textura de la superficie de hormigón dependerá del acabado de la misma. Hay que tener en cuenta que para mantener la uniformidad de color de la superficie de hormigón, deberá usarse maderas de la misma procedencia para los encofrados. Además, para evitar la absorción de agua, que supondría una reducción de la relación agua/cemento dando lugar a hormigones más oscuros, es conveniente humedecer el encofrado. A su vez, para mejorar la uniformidad del color puede utilizarse un hidrófugo que impermeabilice la madera.

Los paneles de contrachapado a pesar de ser uno de los encofrados más utilizados, tienen una vida útil muy corta. Con estos encofrados se consigue transmitir el grano de la madera al hormigón. Por otra parte, con el tiempo, al igual que la madera, se hacen menos absorbentes, dando lugar a hormigones más claros y con una mayor formación de burbujas superficiales. Los paneles de contrachapado pueden tratarse con resinas fenólicas que, además de mejorar la durabilidad del encofrado, impermeabilizan su superficie mejorando la uniformidad del color del hormigón.

Los encofrados de acero, a diferencia de los paneles de contrachapado, poseen una vida útil muy grande, así el número de reutilizaciones que admiten es muy alto (más de 300). Se consiguen superficies de hormigón con una gran uniformidad del color. A pesar de ello, los encofrados de acero, al tratarse de un material muy poco absorbente,

tienden a producir coqueras y, al producirse una mayor contracción de la superficie de hormigón por el hecho de ser un material mal aislante, tienden a provocar una fisuración superficial en forma de piel de cocodrilo. Pero el principal inconveniente de los encofrados de acero reside en la aparición de manchas que produce el óxido. Para evitarlo, puede usarse desencofrantes que actúen como inhibidores de la corrosión.

Los plásticos resultan muy adecuados como encofrados debido a su baja absorción, consiguiendo uniformidad en el color del hormigón, y a la posibilidad de conferirles todo tipo de formas. Para mejorar la vida útil de estos encofrados es conveniente utilizar plásticos reforzados con fibra de vidrio. Su principal inconveniente es el envejecimiento y cambio de color con la luz solar, pudiendo causar cambios en el color del hormigón.

Finalmente, los encofrados de yeso se utilizan únicamente para formas especiales, tratándose de encofrados para un sólo uso.

### **2.6.2 Desencofrado**

La determinación de cuál es el momento más adecuado para realizar el desencofrado es una de las incidencias más importantes a la hora de proporcionar las características resistentes mínimas exigidas al hormigón para poder soportar las sollicitaciones, como el peso propio, cuando desaparece el encofrado que lo sostenía hasta ese momento. Así, un desencofrado precoz o prematuro repercute en el acabado de la superficie de hormigón, con la aparición de grietas al no alcanzarse la resistencia necesaria.

En el momento inicial del desencofrado, también denominado despegue, se rompe la adherencia superficial entre el hormigón, ya solidificado y parcialmente endurecido, y el encofrado que le ha conferido la forma. Para facilitar el despegue del encofrado pueden usarse productos desencofrantes. La necesidad de su aplicación es tanto mayor, cuanto más rugosa sea la superficie del encofrado, y cuanto más tangencial sea el despegue (Martín, 1981).

Existen muchos productos desencofrantes en el mercado que en líneas generales pueden clasificarse en dos grandes grupos, según su base líquida disolvente sea acuosa o grasa. Uno de los inconvenientes principales de los desencofrantes grasos es la aparición de manchas oleosas en el paramento de hormigón. Por su parte, el principal inconveniente de los desencofrantes acuosos es la relativa facilidad para su arrastre por el agua de lluvia y por el propio hormigón fresco durante el llenado, así como, la posible evaporación del mismo en días calurosos o ventosos, haciendo recomendable su aplicación cuanto más tardía y próxima al hormigonado mejor.



## CAPÍTULO 3

### FACHADAS REALIZADAS *IN SITU*

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Las fachadas de hormigón arquitectónico pueden obtenerse por dos vías claramente diferenciadas: realizadas *in situ* o con paneles prefabricados. Dentro de las fachadas realizadas con paneles prefabricados pueden distinguirse aquellas fachadas cuyos paneles son fabricados en planta o aquellas cuyos paneles se realizan *in situ*, objeto de estudio de los capítulos 4 y 5, respectivamente.

En este capítulo se tratan las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas *in situ*, presentando dos ejemplos representativos de construcciones con fachadas de estas características. Con este fin, el capítulo se ha organizado en seis apartados.

En los dos primeros apartados se estudian los edificios representativos que presentan fachadas realizadas *in situ*: el Palacio de Congresos de Cataluña y la Ciudad de la Justicia de Barcelona.

Ambos apartados se estructuran de la siguiente manera: se describe la situación y la función de la obra, las características generales y aspectos técnicos relevantes; se detalla la ejecución del hormigón, la puesta en obra del mismo y de los encofrados y finalmente, se presentan algunas incidencias ocurridas durante la construcción o bien halladas en las fachadas acabadas.

En el cuarto apartado se enumeran las ventajas de la realización *in situ* de fachadas de hormigón arquitectónico. En cambio, en el quinto apartado se presentan las dificultades con las que arquitectos e ingenieros pueden encontrarse a la hora de proyectar o ejecutar fachadas de este tipo.

Por último, en el sexto apartado se tratan algunas de las consideraciones que deben tenerse presente en las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas *in situ*.

### 3.2 PALACIO DE CONGRESOS DE CATALUÑA



Figura 3.1. Vista general del Palacio de Congressos de Cataluña.

#### 3.2.1 Situación y función de la obra

El Palacio de Congressos de Cataluña se sitúa en el extremo suroccidental de la ciudad de Barcelona, en su entrada por la avenida Diagonal. Está ubicado junto al Hotel Juan Carlos I y los clubes deportivos David Lloyd Club Turó y Real Club de Polo de Barcelona, ofreciendo sus dos fachadas principales a la avenida Diagonal (norte) y a la calle Torre Melina (oeste).

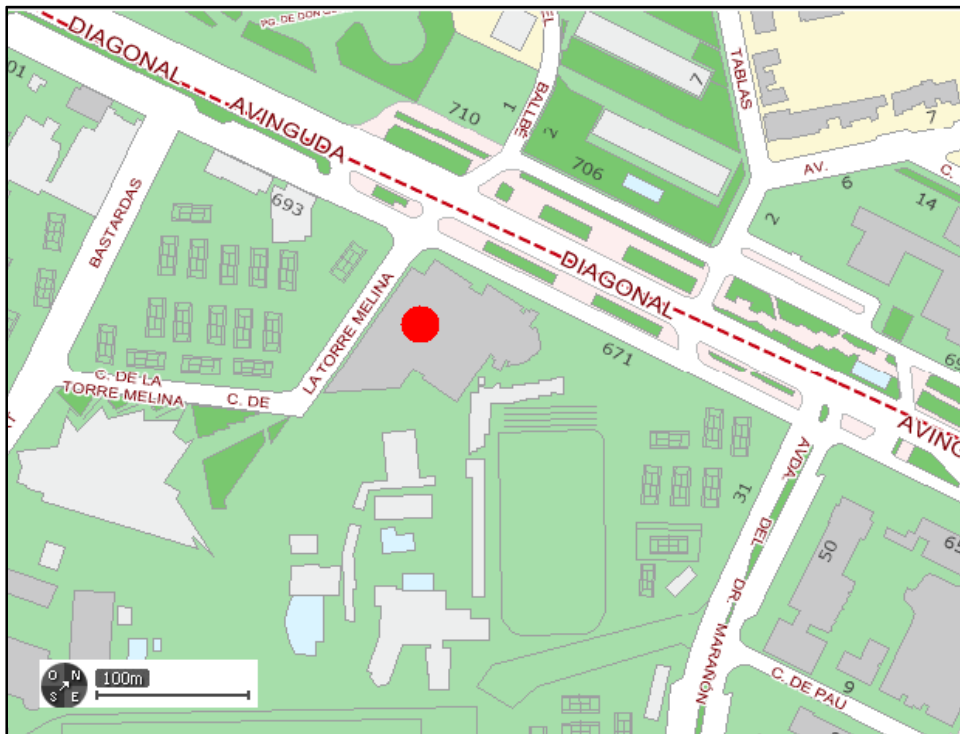


Figura 3.2. Plano de situación del Palacio de Congressos de Cataluña

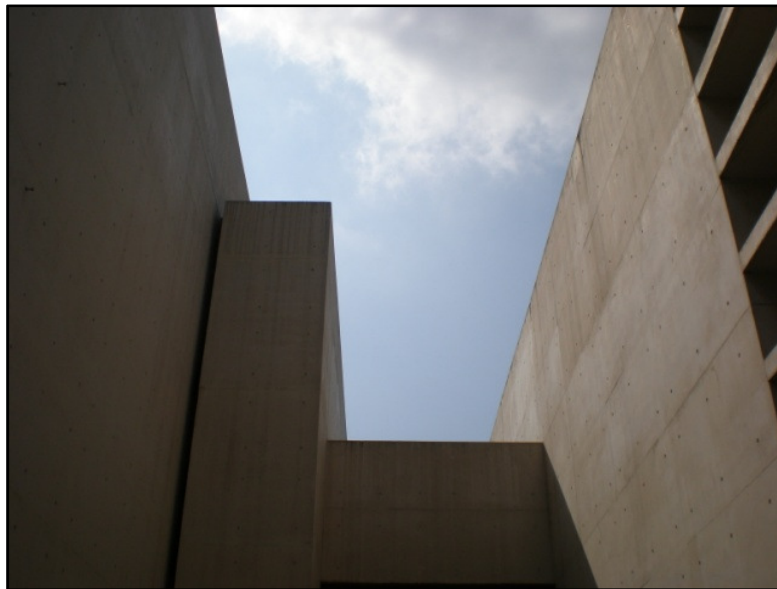
El edificio está compuesto de tres cuerpos que abarcan el auditorio para más de 2000 espectadores, la sala de exposiciones, denominada también “sala mágica”, con una superficie de 2050 metros cuadrados y transformable en dos salas independientes, un salón de banquetes para 3000 comensales y un área polivalente que permite tener desde un espacio totalmente diáfano hasta 18 salas independientes. Se trata pues, de un total de 35 salas donde se celebran todo tipo de eventos.

### 3.2.2 Características generales

El proyecto es obra de los arquitectos Carlos Ferrater y José M° Cartañá. La constructora encargada de su ejecución fue Ferrovial-Agroman, prolongándose las obras 4 años, de 1996 a 2000.

La división del edificio en tres cuerpos facilitó el asentamiento del mismo sobre la topografía en pendiente, consiguiendo aprovechar el desnivel existente entre la avenida Diagonal y los Jardines de la Torre Melina. Gracias a este sistema, se logró albergar un gran volumen construido, sin que su apariencia externa lo manifieste, traduciéndose pues, en una presencia amable como hito urbano (Congreso Internacional de Arquitectura Blanca, 2004).

El empleo de un único material, el hormigón blanco, aporta unidad al conjunto y mitiga la variedad volumétrica. De esta manera, el hormigón está presente tanto en las fachadas exteriores como en las interiores que conforman las calles que delimitan e iluminan los distintos cuerpos del edificio.



*Figura 3.3. Variedad volumétrica del Palacio de Congresos de Cataluña*

Junto con los muros, en los que destaca la ausencia de juntas de dilatación lograda mediante la realización de muros de notables dimensiones, otro elemento característico son las lamas de hormigón blanco presentes sobre el acceso principal.



*Figuras 3.4 y 3.5. Detalle de los muros y vista general de las lamas sobre el acceso principal.*

Además, el uso del hormigón blanco otorga al edificio una condición perenne, casi pétrea, que condicionó, como el mismo arquitecto explica (Ferrater, 2001), la elección del resto de materiales. En el interior del edificio existe nuevamente una continuidad material pero en este caso a base de materiales como la cuarcita, la madera de arce y el latón sulfurizado que conviven con la presencia del hormigón blanco. Según el arquitecto Carlos Ferrater, el lujo se encuentra en las condiciones espaciales y lumínicas y no tanto en la exuberancia o la riqueza de los acabados interiores empleados.

### **3.2.3 Aspectos técnicos**

Las soluciones estructurales adoptadas divergen de las usuales en edificación debido a la necesidad de obtener espacios exentos de pilares. Como consecuencia, se optó por el uso de hormigón pretensado para cubrir las luces requeridas (de entre 15 y 26 metros), así como al empleo de estructura metálica para las cubiertas y el anfiteatro.

Para las cimentaciones, debido a la disparidad en cuanto a las características definidas por el estudio geotécnico que recogen Couso y Carrasco (2003), fue necesario realizar desde una cimentación superficial mediante zapatas aisladas en el auditorio, hasta una cimentación profunda mediante bataches de pantalla en la sala de exposiciones.

Existen elementos de una clara singularidad, uno de ellos es la marquesina de la entrada, de hormigón blanco como muestra la figura 3.6. Con una dimensión de 8x11 m, se apoya únicamente en dos caras contiguas. Se buscó dotarla de una gran fuerza visual, para ello no se empleó ninguna sustentación superior como cables u otros elementos auxiliares. Se trata de una losa de hormigón pretensado con un canto mínimo en el borde exterior de 15 cm y un canto máximo de 40 cm.





*Figura 3.6. Marquesina de la entrada principal*

### 3.2.4 Ejecución del hormigón

Los condicionantes arquitectónicos impusieron exigencias tanto sobre el material, como muy especialmente sobre su puesta en obra. Para el hormigón blanco los áridos utilizados, de 12 mm de tamaño máximo, fueron los convencionales, es decir, de color gris (ver figura 3.8) y solamente la arena y el cemento fueron de color blanco. Este hecho dio origen a un blanco de tonalidad especial, elegidos por los arquitectos de la obra, entre varias muestras que se realizaron. La figura 3.7, muestra el acabado de dicho hormigón.



*Figura 3.7. Detalle de las superficies de las fachadas del Palacio de Congresos de Cataluña.*



*Figura 3.8. Esquina de las fachadas oeste y sur donde se aprecian los áridos grises utilizados.*

En total, se requirió de 35000 m<sup>3</sup> de hormigón de distintas resistencias entre 25 y 40 MPa, dominando el de 25 MPa, 4000 m<sup>3</sup> de los cuales fueron de hormigón blanco. La empresa encargada de suministrar todo el hormigón de esta emblemática obra fue Pioneer. Como características principales de los hormigones empleados, se citan las siguientes (Hormigón Preparado, 2001):

- Cemento BL-I-52,5 fabricado en Vilanova i La Geltrú, con un índice de blancura del 81,9 por ciento y con unas resistencias de 25-30 y 35 MPa.
- Arena caliza blanca proveniente de la cantera de Amposta.
- Áridos calizos grisáceos de la cantera de Gavá (Pydsa), perfectamente seleccionados y limpios.
- Aditivo transparente a base de melanina para evitar al máximo la posible aparición de manchas y evitar así una mejor regularidad de la tonalidad.

### **3.2.5 Puesta en obra del hormigón y encofrados**

Los hormigones se colocaron en obra con consistencia blanda, obtenida mediante fluidificantes y vertido mediante cubilote. En cuanto a los encofrados fue necesario un detallado estudio tanto de sus dimensiones como de sus movimientos y puesta en obra; dicho estudio pormenorizado fue realizado por ROBLES-9, (Ferrater, 2000). Con el fin de disponer de manera determinada las juntas para que la coincidencia de unas y otras fuera exacta, junto con la existencia de una modulación transversal del edificio de 5,25 m, se sugirió el uso de encofrados metálicos (realizados específicamente) de 2625x1500 mm con chapa de 4 mm de espesor y con seis taladros para latiguillos, que posteriormente se integraban en la fachada mediante su sellado con discos de acero inoxidable, como muestra la figura 3.10. Los módulos de hormigonado

incluían cuatro encofrados estándar con sus correspondientes solapes, que permitían la trepa sobre partes ya hormigonadas. Además, los módulos incluían su andamiaje en tres niveles para acometer todos los trabajos necesarios.



*Figura 3.9. Vista general donde se aprecia la modulación transversal con los 6 latiguillos*



*Figura 3.10. Disco de acero inoxidable sellando los latiguillos*

### 3.2.6 Incidencias

En la fabricación del hormigón blanco, (Hormigón Preparado, 2001), se tuvieron que superar varios problemas. Uno de ellos fue la contaminación de los materiales convencionales. Debido a que se fabricaban 1000 m<sup>3</sup>/día del resto de hormigones, para evitar la contaminación de los materiales con los que se realizaba el hormigón blanco, fue primordial la limpieza de las tolvas de recepción de los materiales y las cubas de los camiones hormigonera. Asimismo, fue necesario disponer de un silo exclusivo para almacenar el cemento blanco y coordinar la recepción con el consumo de la obra.

En cuanto algunas incidencias que pueden apreciarse en las fachadas del Palacio de Congresos de Cataluña se encuentran algunas no alineaciones de algunas puestas por posible movimiento o aplomo deficiente de los encofrados repercutiendo en la verticalidad de la puesta o mal solape del encofrado, como se aprecia en la figura 3.11 y la figura 3.12.



*Figuras 3.11 y 3.12. Defecto por discontinuidad en la alineación de encofrados.*



Igualmente otra incidencia apreciable es la presencia de pequeñas grietas, tal como muestran las figuras 3.13 y 3.14. Asimismo, en algunos tramos es visible una fisuración superficial en forma de piel de cocodrilo (figura 3.15) que como se ha explicado en el apartado 2.6.1 del capítulo anterior dedicado a los encofrados, es producida por la mayor contracción de la superficie de hormigón por el uso de encofrados metálicos.



*Figuras 3.13 y 3.14. Presencia de grietas en la superficie de las fachadas y detalle de éstas.*



*Figura 3.15. Detalle de fisuración en forma de piel de cocodrilo.*

Finalmente, una de las incidencias más usuales en cualquier fachada consiste en la aparición de suciedades. En la mayoría de los casos éstas vienen producidas por la acción del agua de lluvia. Así, la desigual eliminación del polvo atmosférico que lleva a cabo periódicamente el agua de escorrentía, suele formar regueros de suciedad como los que muestran las figuras 3.16, 3.17 y 3.18. Además, en la figura 3.19 puede apreciarse el efecto de la no disposición de líneas de goterón en las lamas presentes sobre el acceso principal, a diferencia de la figura 3.20 donde se observa el efecto de la presencia de las líneas de goterón en los salientes de la fachada lateral colindante a la calle Torre Melina.



*Figuras 3.16, 3.17 y 3.18. Regueros de suciedad producidos por acción del agua de lluvia.*



*Figura 3.19 y 3.20. Suciedades por el efecto de evacuación del agua de lluvia sin y con línea de goterón, respectivamente.*





La obra proyectada pretendía agrupar todos los organismos judiciales en un mismo emplazamiento. La superficie total construida es de 232.368 metros cuadrados donde se desarrollan dichas actividades judiciales y empresariales. Las plantas y funciones de cada uno de los edificios se distribuyen de la siguiente manera:

Edificio	Color	Nº plantas	Función
<b>I</b>	Verde	PB + 14	Juzgados de Instrucción, de Violencia sobre la Mujer, Juzgados de Vigilancia Penitenciaria y Decanato de Barcelona
<b>P</b>	Humo	PB + 10	Juzgados de lo Penal
<b>C</b>	Teja	PB + 13	Juzgados de 1ª Instancia y Mercantil
<b>F</b>	Tierra	PB + 11	Fiscalía y juzgados de Menores
<b>G</b>	Negro	PB + 6	Instituto de Medicina Legal de Cataluña
<b>H</b>	Ocre	PB + 7	Juzgados de l'Hospitalet de Llobregat
<b>D</b>	Naranja	PB + 11	Uso comercial y de oficinas
<b>J</b>	Amarillo	PB + 9	Uso comercial y de oficinas

Tabla 3.1. Número de plantas y función de cada uno de los edificios de la Ciudad de la Justicia de Barcelona.

### 3.3.2 Características generales

La propuesta ganadora fue presentada por el arquitecto David Chipperfield y el estudio barcelonés B720 Arquitectos, con Fermín Vázquez al frente. La concesión del complejo se otorgó a URVICSA; ésta a su vez delegó para la construcción a la *UTE Ciudad de la Justicia* formada por cinco empresas (FCC, Ferrovial Agroman, OHL, Comapa y Emte). La ejecución se inició en enero del 2004 y finalizó en 2009.

El material predominante de la Ciudad de la Justicia es el hormigón autocompactante coloreado. Los pigmentos utilizados fueron básicamente óxidos de hierro, con excepción del color verde que se obtuvo a partir de un óxido de cromo. Los ocho edificios independientes que forman el conjunto, denominados, como se ha visto anteriormente, con las letras F, P, H, D, G, I, J y C serían prácticamente idénticos si no fuera por la diversidad de volúmenes con la que fueron tratados y la coloración que identifica cada uno de los edificios. Así pues, mientras que la textura lisa se advierte en la percepción próxima, el color juega un papel fundamental a escala global.



Figura 3.23. Edificios H, F y P (imagen tomada desde la calle Riera Blanca)

### 3.3.3 Aspectos técnicos

Las características especiales del hormigón, así como el elevado número de edificios a construir, hicieron necesario instalar una planta de dosificado de hormigón, un tipo de planta de hormigón que carece de amasadora puesto la mezcla se realizaría en los camiones hormigonera una vez vertido el hormigón de la planta, como muestra la figura 3.24.



*Figura 3.24. Planta de hormigón móvil situada en la Ciudad de la Justicia de Barcelona (Sempere, 2006)*

Cabe destacar el control de calidad llevado a cabo durante la obra. Se controlaban tanto las resistencias que debía alcanzar el hormigón coloreado autocompactable, previamente estipuladas en proyecto, como la consistencia del mismo. Así, se realizaba un ensayo Slump Flow para cada amasada con el fin de determinar su consistencia y para determinar la resistencia se realizaban diariamente probetas que eran enviadas para su posterior ensayo en un laboratorio externo a la obra.

### 3.3.4 Ejecución del hormigón

Los ensayos y estudios previos llevados a cabo, así como el prototipo de fachada realizado antes de la construcción, permitieron variar el hormigón convencional previsto inicialmente en proyecto (HA-35/20/B/IIIa) por un hormigón autocompactable de menor consistencia (de consistencia blanda B a consistencia fluida F): HA-D-450/20/F/IIIa.

Al tratarse de fachadas de hormigón autocompactable coloreado que actúan como elemento estructural del edificio, el cemento utilizado debía tener una alta resistencia característica. Así, se optó por un cemento tipo CEM I 52.5 R suministrado por la empresa CEMEX, en una proporción de 450 Kg. de cemento por metro cubico de hormigón.

En cuanto a los áridos requeridos se trataron de áridos calcáreos de machaqueo provenientes de la cantera de Cervelló (Cal Tita). La figura 3.25 muestra los tres tamaños de áridos utilizados: de 0-4 mm (a), 5-12 mm (b) y 12-20 mm (c).





Figura 3.25. Aspecto visual de los áridos (Sempere, 2006)

Los pigmentos utilizados fueron proporcionados por Europigments (Bayer) (Sempere, 2006). En la tabla 3.2, se muestra la composición de los seis pigmentos inorgánicos presentes en la Ciudad de la Justicia. Cabe destacar que el pigmento naranja es el resultado de mezclar pigmento rojo y amarillo y el pigmento marrón de la mezcla de pigmento amarillo, rojo y negro.

<i>Color del pigmento</i>	<i>Composición</i>
Verde	$\text{Cr}_2\text{O}_3$
Rojo	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Negro	$\text{Fe}_2\text{O}_4$
Amarillo	$\text{FeOOH}$
Naranja	$\text{FeOOH} + \text{Fe}_2\text{O}_3$
Marrón	$\text{FeOOH} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_4$

Tabla 3.2. Composición de los pigmentos utilizados

Además, para mejorar la trabajabilidad del hormigón se utilizaron adiciones: un plastificante con el que se consigue mejorar la trabajabilidad sin necesidad de añadir gran cantidad de agua, y un fluidificante con el que se alarga la trabajabilidad incluso en condiciones de calor extremo. Asimismo, se requirió de anticongelante para las puestas a baja temperaturas (inferiores o iguales a  $5^\circ\text{C}$ ).

A continuación se muestran los acabados de las superficies de los 8 edificios que constituyen la Ciudad de la Justicia de Barcelona (figuras 3.26 a 3.34):



*Edificio D (naranja)*



*Edificio G (negro)*



*Edificio J (amarillo)*



*Edificio F (tierra)*



*Edificio I (verde)*



*Edificio C (teja)*



*Edificio P (humo)*



*Edificio H (ocre)*



*Edificio H (ocre)*



La gran variedad de colores conseguida, como se ha visto anteriormente, es amplia. La mayor dificultad, como se aprecia en la figura 3.36, se encuentra en la definición del color verde del edificio I, pues el resultado fue una tonalidad no muy nítida del mismo.



*Figuras 3.35 y 3.36. Vista parcial de los edificios H y C (ocre y teja) y del edificio I de color verde.*

### 3.3.5 Puesta en obra y encofrados

Debido a las características de las fachadas, con un espesor de 25 cm y una importante densidad de armado, el vertido del hormigón en consistencia líquida se realizó mediante cubilotes de 1 m<sup>3</sup> con trompa de elefante de 10 cm de diámetro y un metro de longitud, introduciendo dicha manguera de goma entre el armado de las jácenas y los pilares, como muestra la figura 3.37.

Los cubilotes disponían de un rejado (figura 3.38) que evitaba la caída de grumos de pigmento producidos por un mal amasado, garantizando así los posibles defectos que podían causar en la superficie vista de la fachada.



*Figura 3.37. Cubilote de hormigonado (Sempere, 2006)*



*Figura 3.38. Detalle de la reja dispuesta en el cubilote (Sempere, 2006)*

En cuanto a los encofrados se utilizaron encofrados metálicos TYSEN, como los que muestra la figura 3.39. Así, según su aplicación, se usaron diferentes tipos de encofrado: para la jácena de inicio de la fachada, para los pilares, esquinas y aquellos para las ventanas.



*Figura 3.39. Encofrado metálico usado en obra (Sempere, 2006).*

Una vez colocados los andamios se procedía a la colocación de los módulos de 6 metros de encofrado. En primer lugar se colocaron los encofrados de la cara exterior de la fachada, a continuación las tapas interiores de ventana y finalmente se procedía al cerramiento del encofrado, colocando el de la cara interior. El desencofrado tenía lugar transcurridas 12 horas del hormigonado.

### 3.3.6 Incidencias

A continuación se muestran algunas de las incidencias encontradas en las fachadas de los ocho edificios de la Ciudad de la Justicia de Barcelona. La mayoría de ellas corresponden a manchas producidas por el encofrado, como las que se observan en las figuras 3.40, 3.41, 3.42 y 3.43. Estas manchas acostumbran a estar producidas por una mala limpieza del encofrado.



*Figuras 3.40 y 3.41. Manchas provocadas por mala limpieza del encofrado en el edificio C.*

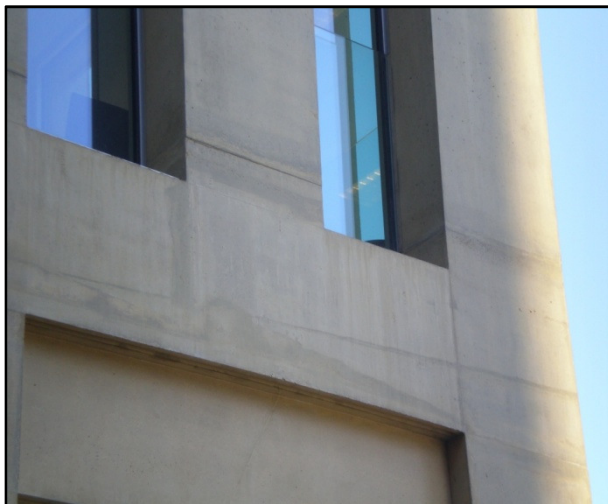




*Figuras 3.42 y 3.43. Manchas más oscuras en los edificios C y F, respectivamente.*

Asimismo en el edificio I (verde) se aprecian marcas más oscuras provocadas, en este caso durante el vertido del hormigón, cuando éste alcanza la jácena y fluye horizontalmente. Durante unos instantes el nivel de hormigón se eleva, disminuyendo al fluir entre el encofrado y dejando una película de hormigón en el encofrado. Al ir vertiendo hormigón, el nivel vuelve a alcanzar la zona donde reside la película de hormigón ya seca. Este hecho provoca que al desencofrar dicha película de hormigón quede adherida al encofrado dejando una marca más oscura en la superficie (figura 3.44).

Otro defecto observado se atribuye a la pérdida de pasta de cemento por un contacto defectuoso de las piezas del encofrado. El aspecto final presenta unas manchas con una transición de color hasta el borde de la zona afectada, presentando, como se observa en la figura 3.45, una tonalidad más oscura por la acumulación de finos.



*Figura 3.44(superior). Marca resultante del hormigón adherido al encofrado.*



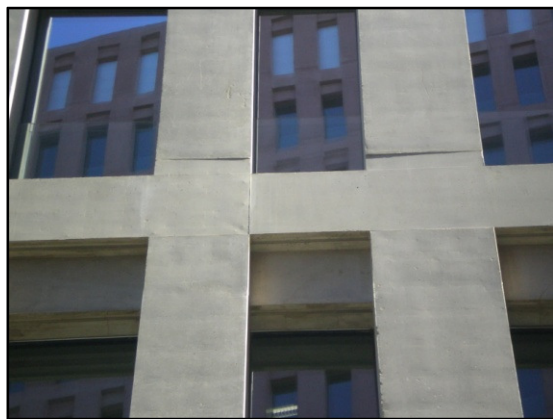
*Figura 3.45 (derecha). Mancha por lavado de finos*

En el edificio C, de color teja, se aprecian unas manchas producidas por salpicaduras durante el hormigonado, como muestra la figura 3.46.

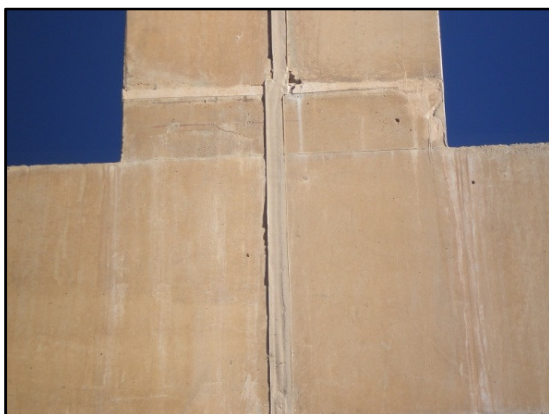


*Figura 3.46. Manchas en el edificio C.*

Las figuras 3.47 y 3.48 muestran defectos en el aplomo de los encofrados. A su vez, en la figura 3.49 se observa la no linealidad de una junta y una resolución de la misma no muy acertada.



*Figuras 3.47 y 3.48. Defecto por discontinuidad en la alineación de encofrados.*



*Figura 3.49.  
Junta en el edificio D (naranja)*

Por última, otra incidencia apreciable en el complejo de la Ciudad de la Justicia es la formación de coqueras en las superficies de hormigón de los diferentes edificios. A pesar de todo, la figura 3.50 muestra que el tamaño de dichas coqueras no es excesivo.



*Figura 3.50. Coqueras visibles en la superficie de hormigón*

### **3.4 VENTAJAS**

- Respeto a la realización mediante paneles prefabricados, la construcción in situ no requiere del transporte de los mismos (si los paneles están prefabricados en planta) ni del proceso de montaje (de los paneles prefabricados en planta o in situ).
- No son necesarias unas consideraciones especiales de puesta en obra. Puede procederse al vertido directo del hormigón (desde una altura máxima de 3 metros) o demás posibilidades como el vertido con trompa de elefante.
- Disminución de los costes de producción.
- Según la envergadura de la obra, muchas veces existe la posibilidad de disponer de una planta de hormigonado a pie de obra, ampliando así la disponibilidad de suministro de hormigón.

### **3.5 INCONVENIENTES**

Pese a las ventajas mencionadas que ofrecen las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas in situ, hay que tener en cuenta algunas dificultades:

- La calidad de los acabados de la superficies es menor que la de los paneles prefabricados.
- Mayor dificultad de mantener la uniformidad (en la tonalidad). Resulta difícil mantener la tonalidad en las diferentes amasadas.
- Influencia de las condiciones climáticas. Es sabido que el hormigón, a medida que transcurre el tiempo, endurece perdiendo capacidad de fluir y llenar el encofrado, por eso es importante que la puesta en obra sea rápida y la consistencia adecuada a las condiciones climáticas presentes. Este hecho es más remarcable con altas temperaturas y/o con condiciones de viento, pues el agua se



evapora más rápidamente favoreciendo la aparición de fisuras por retracción plástica.

- Las diferentes amasadas difícilmente tienen propiedades idénticas, pudiéndose producir, por ese motivo, una división horizontal de amasadas perceptible.
- Posible aparición de manchas en superficies acabadas debido al encofrado de superficies inmediatamente superiores a éstas, por efecto chorreo.
- Asimismo, durante el transcurso de la obra pueden aparecer manchas en superficies acabadas debido al tránsito o a la realización de diferentes trabajos alrededor de la fachada por parte de los operarios.

### 3.6 RECOMENDACIONES

En la ejecución de fachadas de hormigón arquitectónico realizadas in situ se recomienda elevar el nivel de exigencia de los diferentes componentes y procesos respecto a lo que es habitual, al requerirse unas altas prestaciones estéticas. Asimismo, un factor a tener en cuenta es que el criterio de aceptación o rechazo debe estar claramente preestablecido, considerando la tonalidad como parámetro principal.

En cuanto a los desencofrantes, se recomienda el uso de desencofrante incoloro y una imprimación regular del mismo por el encofrado. Además, a pesar de que la gran mayoría de pigmentos contienen óxidos de hierro y del amplio uso de encofrados metálicos, se recomienda no usar este tipo de encofrados en hormigones pigmentados mediante óxidos ferrosos ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ), para evitar el efecto de magnetismo producido por electricidad estática, observado en los edificios negro y marrón de la Ciudad de la Justicia de Barcelona (Sempere, 2006).

Para evitar o minimizar la no alineación entre juntas de encofrado, como las que muestran las figuras 10 y 11 del Palacio de Congresos de Cataluña o las figuras 3.47 y 3.48 de la Ciudad de la Justicia de Barcelona presentadas en los apartados 3.2.6 y 3.3.6 respectivamente, se recomienda que el solape en encofrado metálicos se realice montando la parte inferior sobre la superior, disimulando de esta manera la junta y evitando la rebaba. La figura 3.51 indica la manera adecuada de solapar encofrados de chapa metálica:

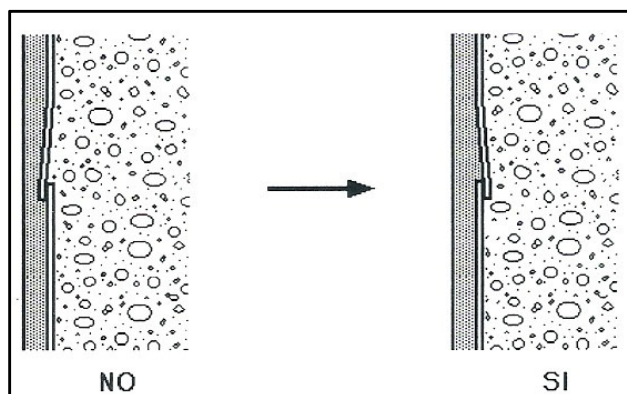


Figura 3.51. Solape de encofrados de chapa metálica  
(Calavera et al., 1999)



Finalmente, en la realización en obra debe tenerse presente que cualquier variación, por pequeña que sea, puede modificar el acabado final de las superficies, siendo sumamente difícil controlar, a diferencia de la prefabricación, todos los parámetros que intervienen. Así, en la ejecución in situ de fachadas de hormigón arquitectónico debe elevarse el nivel de exigencia respecto a lo habitual.



## **CAPÍTULO 4**

### **FACHADAS REALIZADAS CON PANELES PREFABRICADOS EN PLANTA**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el capítulo anterior se han visto las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas *in situ*; en éste se tratan las fachadas realizadas con paneles prefabricados en planta. Los paneles prefabricados empleados en la ejecución de fachadas pueden ser fabricados en planta, objeto de estudio de este capítulo, o *in situ*, es decir, contruidos a pie de obra, tema que será tratado en el capítulo 5. Así, el presente capítulo, al igual que el capítulo anterior, se ha organizado en seis apartados.

Los dos primeros apartados presentan los edificios representativos cuyas fachadas están realizadas con paneles prefabricados en planta: el edificio de la Escuela Superior de Administración y Dirección de Empresas (ESADE) y el aparthotel de la calle Diputació.

Ambos apartados, siguiendo el esquema del anterior capítulo, están estructurados en: descripción de la situación y la función de la obra, características generales del edificio, aspectos técnicos destacados, detalles de la ejecución del hormigón y de la puesta de los paneles e incidencias aparecidas durante la construcción o que pueden observarse en la fachada.

En el cuarto apartado se citan las principales ventajas que ofrece el método de los paneles prefabricados en planta en la realización de fachadas de hormigón arquitectónico. Por el contrario, el quinto apartado presenta algunos inconvenientes o dificultades.

Finalmente, el sexto apartado menciona algunas consideraciones finales, a modo de recomendaciones, que deben tener presente arquitectos e ingenieros que quieran realizar fachadas de hormigón arquitectónico mediante el empleo de paneles prefabricados en planta.



En la edificación se imparten los másters y posgrados, así como la enseñanza de idiomas y forma parte, junto a otros dos edificios situados en la cercana avenida de Pedralbes, del campus de la institución universitaria ESADE en Barcelona.

#### **4.2.2 Características generales**

El edificio, obra de los arquitectos Manuel Núñez y Helena Pawlowsky, está formado por siete plantas, tres de las cuáles son subterráneas. La planta baja tiene forma trapezoidal con las esquinas redondeadas.

Las fachadas principal y posterior presentan superficies curvas con longitud y altura superiores a las dimensiones del edificio, hecho que le proporciona monumentalidad al ser observado desde la calle. Así mismo, los huecos de la fachada principal, a través de las cuatro columnas, permiten ver las fachadas laterales.



*Figuras 4.3 y 4.4. Vistas de la fachada principal*

Las dos fachadas laterales están formadas por paneles verticales de color beige claro y por paneles horizontales de color rosado que revisten los forjados y contrastan en orientación y color con los verticales. En la figura 4.5 se muestra una de las dos fachadas laterales, concretamente la orientada al este, siendo la fachada orientada al oeste, y por tanto, colinadante a la calle Miret i Sans, idéntica a ésta.



*Figura 4.5. Fachada lateral*

La ejecución del edificio tuvo lugar entre noviembre de 1989 y mayo de 1992 por la empresa constructora INCESA (Barth, 1997). La superficie total construida fue de 7670 m<sup>2</sup>. En cuanto a los paneles de hormigón macizos que revisten los 4545 m<sup>2</sup> de fachadas fueron fabricados por la empresa Pere Fusté S.A.

#### 4.2.3 Aspectos técnicos

Para hacer frente a la complejidad formal de las fachadas, se tuvieron que diseñar una gran diversidad de paneles. Según la empresa fabricante de los paneles, la empresa Pere Fusté S.A., los moldes para realizar los paneles fueron producidos con chapa de acero y, en algunos casos, con poliéster y fibra de vidrio. Para los casos más complejos, como en la realización de las semiesferas empleadas en las fachadas principal y posterior, se utilizaron moldes de elastómeros, en concreto, de Reckli A-55.

Una característica a destacar de los paneles es la presencia de un bajo relieve, de 1,5 cm aproximadamente, en las aristas cuyo objetivo principal es remarcar el diseño de las fachadas con paneles prefabricados y atenuar las posibles diferencias entre las juntas. Dicho bajo relieve y el efecto final del mismo se aprecian en las figuras 4.6 y 4.7, respectivamente.



*Figura 4.6. Bajorrelieve en las aristas del panel*



*Figura 4.7. Efecto visual del bajorrelieve*

#### 4.2.4 Ejecución de los paneles

Los paneles que forman las fachadas fueron realizados en 2 colores: rosa y marfil, utilizando en ambos casos cemento blanco y pigmentos de la casa Bayer (Barth, 1997).

Por lo que hace referencia a los paneles rosados, presentes en todas las fachadas del edificio, su composición fue:

- Cemento blanco: 300 Kg/m<sup>3</sup>
- Arenilla de color rojo (Alicante).
- Granito Figueras 0-1-2.



- Polvo de mármol: 40 Kg/m<sup>3</sup>
- Pigmento: 7 g/Kg de cemento (Bayer, color 192).

En cuanto a los paneles de color marfil, se fabricación con la siguiente composición:

- Cemento blanco: 300 Kg/m<sup>3</sup>
- Arenilla de color marfil (Amposta).
- Granito Figueras 0-1-2.
- Polvo de mármol: 40 Kg/m<sup>3</sup>
- Pigmento: 3 g/Kg de cemento (Bayer, color 920).



Figura 4.8. Detalle de los paneles rosados



Figura 4.9. Detalle de los paneles de color marfil

#### 4.2.5 Puesta en obra de los paneles

Los paneles de las fachadas principal y posterior fueron fijados a la estructura de hormigón mediante angulares y platinas. Cabe destacar que sendas cornisas están integradas en los mismos paneles, conforme se muestra en la figura 4.10. Además, los paneles de las cornisas sirvieron de encofrados a las vigas superiores, como se observa en la figura 4.11.

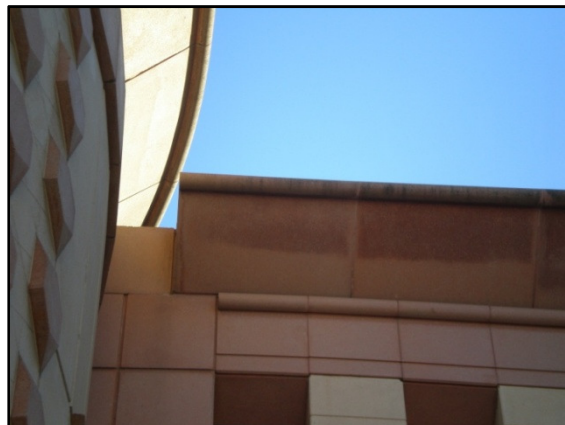
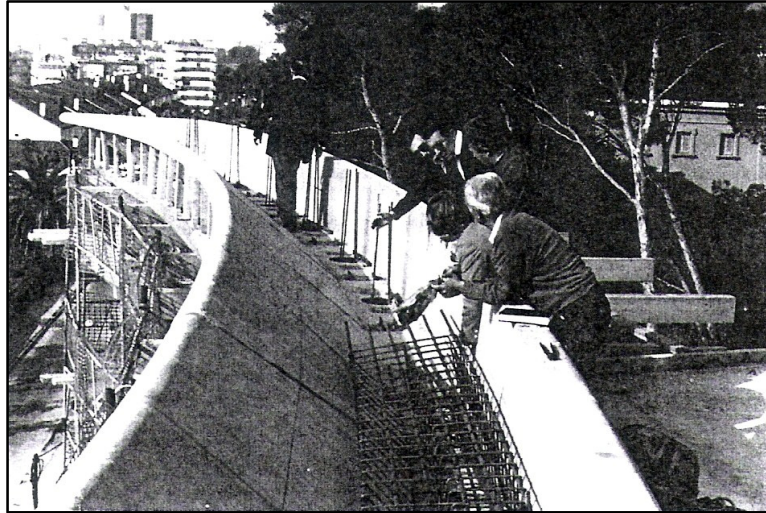


Figura 4.10. Paneles con las cornisas integradas



*Figura 4.11. Panel de la cornisa que sirve de encofrado a la viga superior (Barth (1997)).*

#### **4.2.6 Incidencias**

En las fachadas del edificio de la Escuela Superior de Administración y Dirección de Empresas (ESADE) pueden observarse algunas incidencias. La mayoría de ellas son producto de la degradación que toda fachada sufre con el transcurso del tiempo y pocas fueron causadas durante la misma ejecución de la fachada.

Una de las incidencias apreciables es la presencia de grietas. Así, en las columnas situadas frente la fachada principal se observan grietas formadas en las juntas, como muestra la figura 4.12. En el resto de paneles aparecen ocasionalmente grietas superficiales (ver figura 4.13) causadas por el uso de encofrados metálicos, aspecto detallado en el apartado 2.6.1 dedicado a la casuística de los encofrados.



*Figura 4.12. Grietas en las columnas*



*Figura 4.13. Grietas superficiales*



Por otra parte, otro defecto observado consiste en la variación de tonalidad de paneles. Las figuras que a continuación se presentan, la 4.14 y la 4.15, muestran la diferencia existente entre la tonalidad de algunos paneles rosados que forman parte de una de las fachadas laterales y de la esquina septentrional oriental, respectivamente.



*Figuras 4.14 y 4.15. Variación de tonalidad en paneles contiguos*

Asimismo, haciendo referencia al acabado textural, algunos paneles reflejan una heterogeneidad en la disposición de los áridos. En zonas se concentran los áridos más finos, como se observa en las figuras 4.16 y 4.17, destacando la ausencia de áridos gruesos en dichas zonas. Esta distribución desigual de los áridos en la superficie provoca una apreciable diferencia textural entre zonas del mismo panel.

Además, en algunos paneles rosados que forman parte de la fachada lateral oriental se aprecian nidos de los áridos más gruesos en las aristas vivas. Estas zonas, donde sólo quedan a la vista los áridos gruesos y en las que se observa una carencia de áridos finos, son debidas a la segregación del hormigón, mayoritariamente a causa de que el agua de la mezcla no ha producido una pasta homogénea y al verter el hormigón para realizar el panel caen primero los áridos que no se han mezclado correctamente que el resto de pasta más fluida. De este modo la figura 4.18 muestra uno de los nidos de áridos gruesos presente en una arista de un panel rosado.

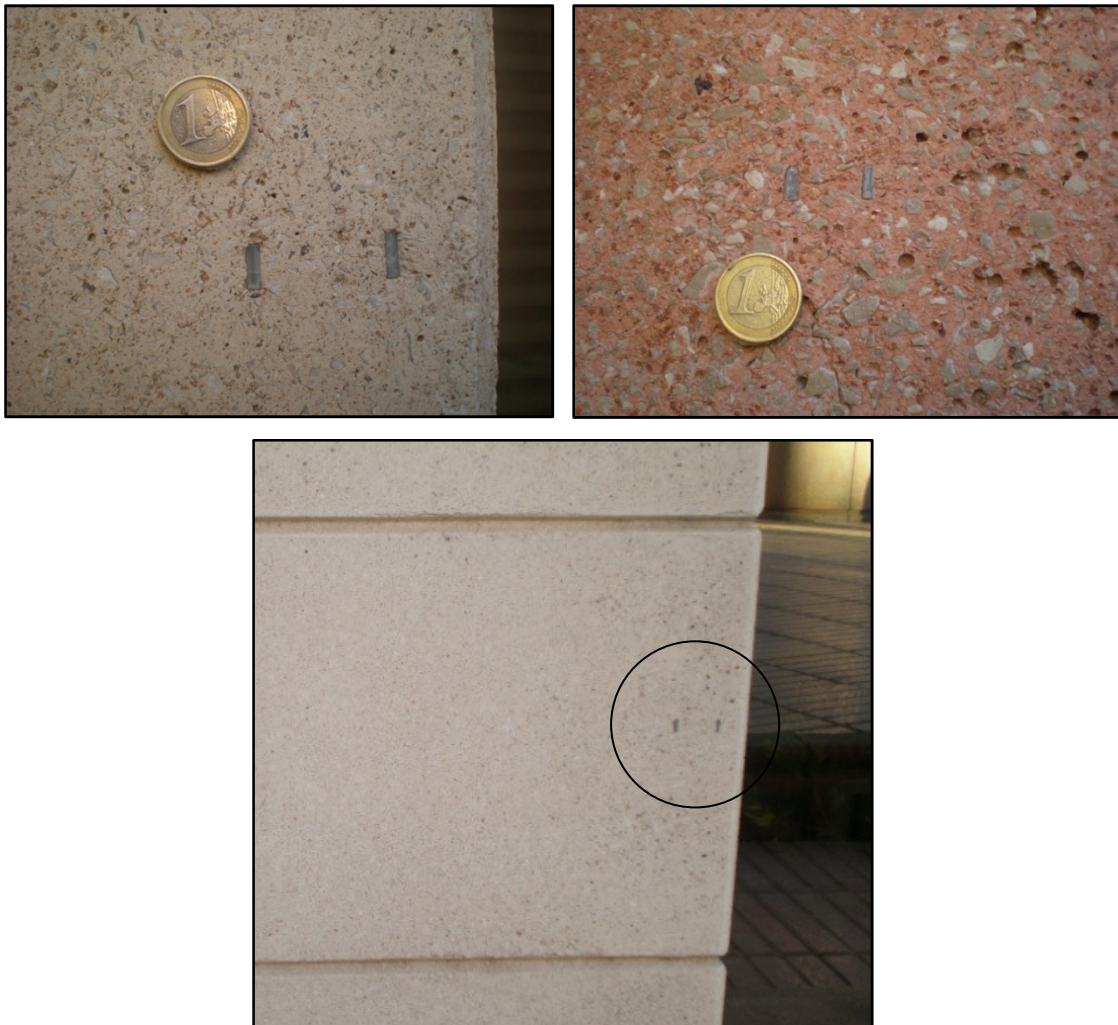


*Figuras 4.16 y 4.17.  
Heterogeneidad textural en paneles marfil de una  
de las fachadas laterales*



*Figura 4.18. Nido de áridos gruesos en una arista de un panel rosado*

Otra de las incidencias observadas es la presencia de elementos en la superficie de los paneles. En las figuras siguientes, 4.19 a 4.21, se advierte como la caída del hormigón arrastró algunos separadores de armadura, los cuales emergieron a la superficie de los paneles.



*Figuras 4.19 a 4.21. Elementos aparecidos en la superficie*



Finalmente, uno de los defectos más frecuentes, presente en la gran mayoría de fachadas, consiste en la presencia de suciedades. Así, en la figura 4.22 se muestran suciedades que presentan algunos salientes de los paneles, donde el efecto de la lluvia y los regueros de suciedad que deja son muy visibles. A su lado, en la figura 4.23, se aprecian suciedades en los paneles que conforman una de las esquinas redondeadas en la fachada principal.

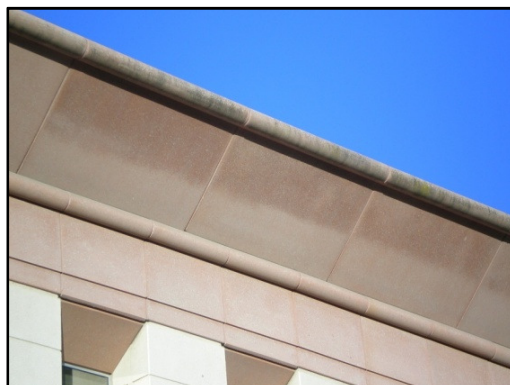


*Figura 4.22. Suciedades en los salientes*



*Figura 4.23. Suciedades en paneles de esquina*

En paneles o en zonas de paneles más resguardados y menos expuestos al sol, se aprecian manchas producidas por eflorescencias y humedades. Las dos figuras adjuntas a continuación (4.24 y 4.25) muestran estas manchas en paneles horizontales, mientras que en la figura 4.26 se observan eflorescencias en la fachada posterior. Asimismo pueden observarse manchas en los paneles que conforman las cornisas (figura 4.27).



*Figuras 4.24 a 4.27. Manchas por humedades y eflorescencias*

### 4.3 APARTHOTEL AKO-SUITS

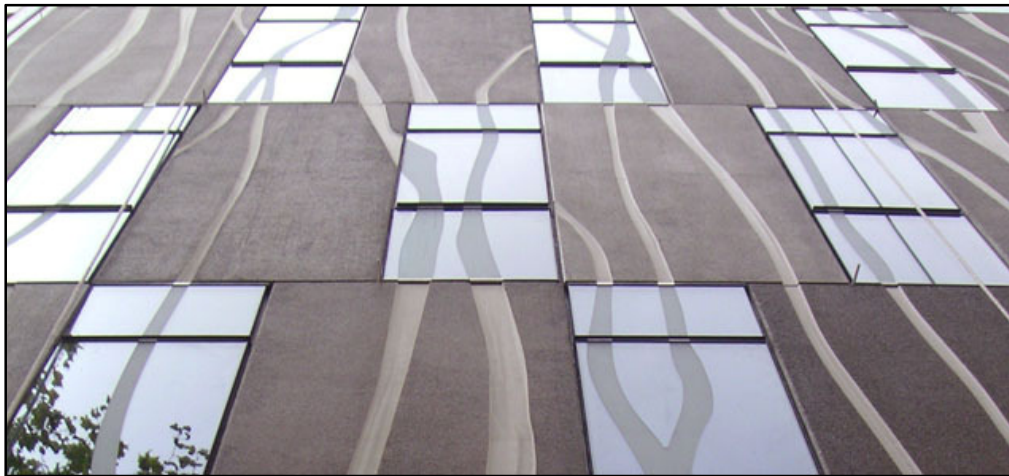


Figura 4.28. Vista de la fachada del Aparthotel Ako-suits.

#### 4.3.1 Situación y función de la obra

El Aparthotel, estudio del presente apartado, se sitúa en el barrio del ensanche, concretamente en la calle Diputació, entre las calles Muntaner y Aribau. El edificio formado por 6 plantas donde se albergaran los apartamentos para alojar huéspedes, está situado en la acera norte de dicha calle, con lo que la fachada está orientada al sureste como se aprecia en la figura 4.29.

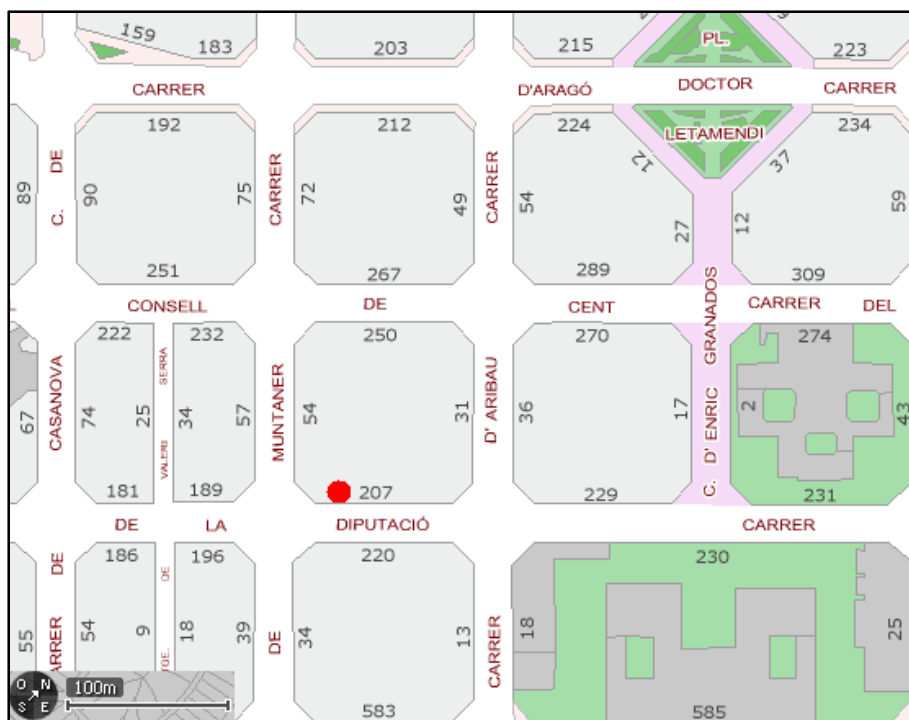


Figura 4.29. Plano de situación del edificio del Aparthotel

#### 4.3.2 Características generales

El proyecto del aparthotel es obra del estudio de arquitectura Pich-Aguilera, con Felipe Pich-Aguilera y Teresa Batlle al frente. El edificio presenta 6 plantas, siguiendo la estructura de los edificios colindantes (ver figura 4.30).

Una de las características principales de la fachada principal son los llamativos paneles de hormigón arquitectónico con los que está realizada. Además del color negro rojizo de los paneles, destaca en ellos el relieve dispuesto, de manera que, a pesar de que un mismo trazado recorra varios paneles, a dicho trazado se le ha otorgado continuidad, encajando a la perfección los trazos de un panel a otro, como muestran las figuras 4.28 y 4.30.

La ejecución del edificio se inició en octubre de 2009, cuando se empezaron a fabricar los primeros paneles, y está previsto que finalice durante este mes de junio de 2011. La empresa constructora responsable de su ejecución es Frapont. La superficie total construida es de 1957 m<sup>2</sup>.

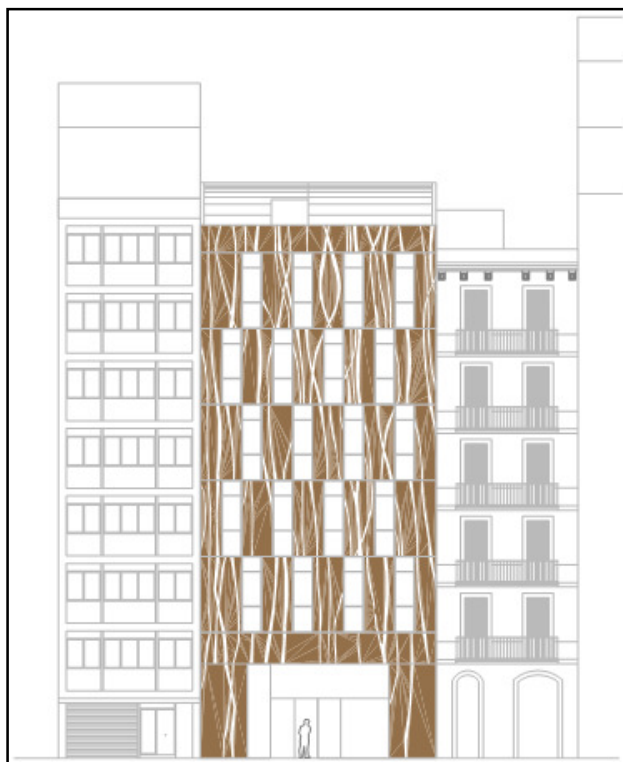


Figura 4.30. Alzado de la fachada principal (Pich-Aguilera Architects).

#### 4.3.3 Aspectos técnicos

Los paneles de hormigón arquitectónico fueron realizados por la empresa de prefabricados Escofet 1886 S.A. A continuación se muestra una tabla (tabla 4.1) de los diversos paneles que conforman la fachada, donde se especifican las dimensiones y el peso. En total se observa que fueron necesarios 33 paneles para realizar los aproximadamente 176 m<sup>2</sup> de fachada.



Tipo	Unidades	Ancho (mm)	Alto (mm)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Peso (kg)
A	1	2125	4320	9,57	2100
A1	1	2075	4320	10,9	2500
B	1	1875	3424	6,4	1500
B1 a B4	1 (4x)	1875	3424	6,4	1500
C	1	1400	3424	4,5	900
C1 a C14	1 (14x)	1400	3424	4,5	900
D	1	925	3424	3,2	700
D1 a D4	1 (4x)	975	3424	3,4	700
E	1	3180	1410	8,95	2000
E1	1	3225	1410	5,2	1300
E2	1	4175	1410	7,03	1600
F	1	3180	1245	5,1	1200
F1	1	3225	1245	5,14	1200
F2	1	4175	1245	6,66	1500

*Tabla 4.1. Tipología de paneles utilizados*

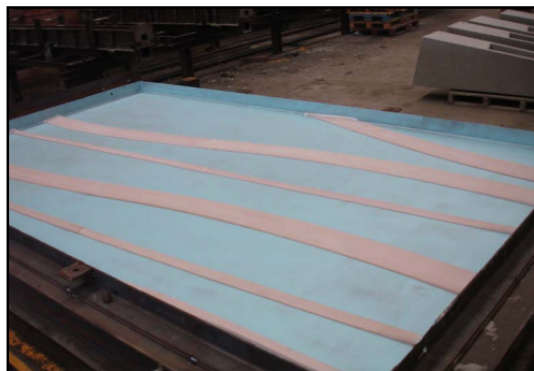
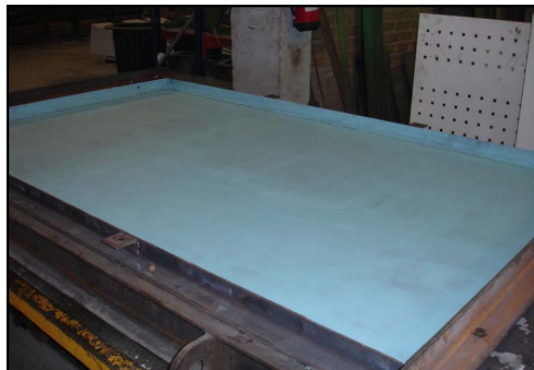
#### 4.3.4 Ejecución de los paneles

Los paneles prefabricados de la fachada del Aparthotel de la calle Diputació 195, como se ha mencionado anteriormente, fueron producidos en la planta de prefabricación de la empresa Escofet 1886 S.A. situada en Martorell. El hormigón de color negro rojizo que les caracteriza se obtuvo mediante el uso de cemento gris (cemento que en dicha planta sólo se emplea en la realización de paneles de color negro o gris oscuro, para evitar el efecto de ensuciamiento del color), así como áridos acordes a la tonalidad que quería fijarse y los pigmentos correspondientes.



*Figura 4.31. Detalle de los paneles*

En las figuras que se presentan a continuación (figuras 4.32 a 4.47) se observa la fabricación, paso a paso, de uno de los paneles que conforma la fachada objeto de estudio. De este modo puede apreciarse desde la imprimación del molde metálico antes del vertido del hormigón hasta el tratamiento superficial posterior al desmolde al que se somete el panel, pasando por la realización del bajo relieve característico de los paneles.







*Figuras 4.32 a 4.47. Realización de los paneles prefabricados*

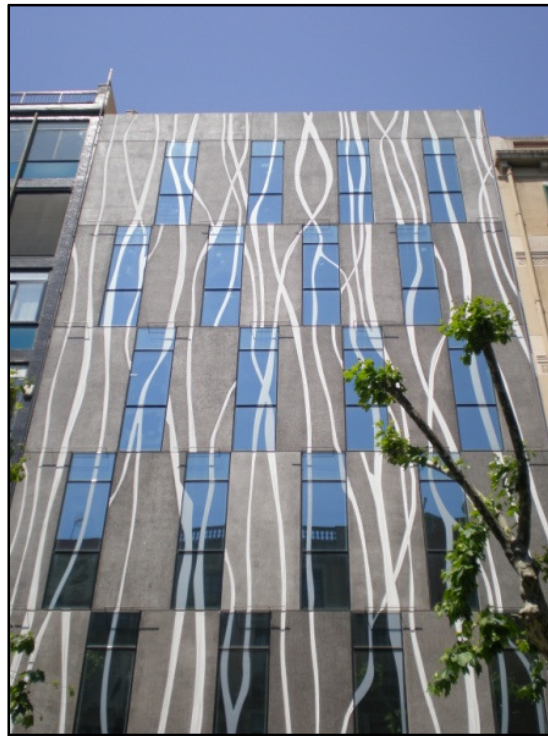


#### 4.3.5 Puesta en obra de los paneles

Tras su fabricación, los paneles fueron transportados a pie de obra e instalados mediante el empleo de grúa. Cada panel disponía de anclajes, entre 4 y 6 según el tipo de panel, tales como carriles y angulares para su correcta elevación y posterior fijación. Todos estos elementos

#### 4.3.6 Incidencias

A pesar de tratarse de una edificación de reciente construcción, de hecho en la actualidad se están finalizando las obras interiores, en la fachada del Aparthotel pueden observarse algunas incidencias. La mayor parte de estas incidencias corresponden a la extrema dificultad de mantener la uniformidad en la tonalidad del hormigón procedente de diferentes amasadas. De este modo, se aprecian diferencias tonales entre los diversos paneles. Una muestra de esta incidencia la ofrece la figura 4.48 donde se observa la heterogeneidad tonal existente en los paneles que configuran la fachada.



*Figura 4.48. Diferencias tonales entre paneles*

Otra incidencia apreciable es la presencia de algunas manchas. Las figuras 4.49 y 4.50 muestran estas manchas originadas en la realización de los paneles. Una de las posibles causas de dichas manchas es la existencia de irregularidades, suciedades u oxidaciones locales en los moldes de los paneles. Asimismo, no se aprecian más incidencias destacables tales como grietas, eflorescencias o suciedades como ocurre en las otras fachadas estudiadas hasta el momento.



*Figuras 4.49 y 4.50. Manchas en la superficie de los paneles*

#### **4.4 VENTAJAS**

Las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas con paneles prefabricados en planta presentan numerosas ventajas. Así, pueden citarse:

- Elevado control de calidad de los acabados, al ser producidos en fábrica. Así, el acabado resulta mejor que en construcción in situ.
- Puesta en obra rápida. La asimilación del proceso constructivo al proceso industrial permite una mayor rapidez de ejecución de la fachada, acortando el plazo de construcción.
- Disminución de los trabajos in situ, hecho que comporta una mayor comodidad y limpieza durante la ejecución de la fachada.
- Capacidad de simultaneidad de etapas de construcción.
- Independencia de las condiciones climáticas durante la realización de los paneles, pudiéndose trabajar aunque éstas sean desfavorables, al producirse los paneles en fábrica.
- Mayor protección y seguridad en obra.
- Posibilidad de disminución de costes de producción debido al alto grado de industrialización que puede alcanzarse.

#### **4.5 INCONVENIENTES**

A pesar de las múltiples ventajas que ofrecen las fachadas realizadas con paneles prefabricados en planta, existen algunas dificultades que hay que tener presentes:

- Necesidad de transporte de los paneles y su posterior montaje en obra. Estos dos procesos suelen requerir de elementos caros como camiones que pueden llegar a las 60 toneladas de carga o grúas de gran capacidad.
- Exigencia de un umbral de calidad del hormigón para su correcto desmolde.
- Aumento de los costes, principalmente si la planta de prefabricación se halla a grandes distancias de la obra, debido al elevado coste que representa el transporte de los paneles.

#### **4.6 RECOMENDACIONES**

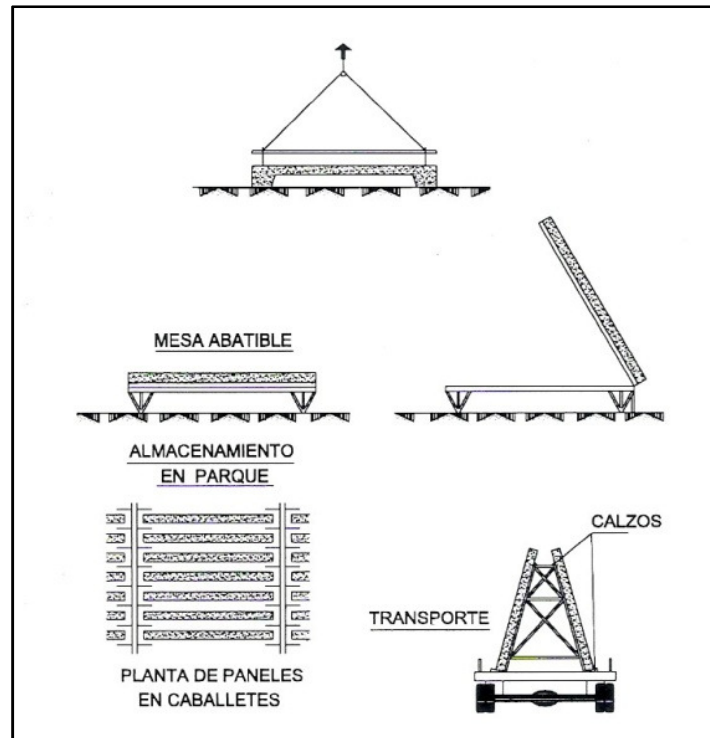
En la prefabricación en planta de paneles hay que tener en cuenta todos aquellos condicionantes que deben cumplirse. Primeramente pues, debe considerarse la forma geométrica y el relieve del panel. Cuanto mayor complejidad formal y/o de relieve presenta el panel, más complejo es el molde del mismo, requiriéndose hormigones más fluidos, generalmente obtenidos por adición de plastificantes.

Además, para un óptimo desmolde de las piezas hay que emplear formas que favorecen la extracción, evitando y eliminando todos los obstáculos que imposibiliten el mismo. Asimismo, deben evitarse las aristas en ángulo agudo pues se tratan, lógicamente, de zonas frágiles y pueden sufrir deterioro ya sea durante el proceso de fabricación, desmolde, transporte o montaje del panel.

Antes de la fabricación de los paneles se recomienda realizar un panel a modo de muestra. Es importante que el panel de muestra se realice a escala real, ya que con muestras pequeñas no suele reflejarse el aspecto final del panel debido a que cuanto más pequeña es la muestra más de cerca se observa, lo que induce a mayores exigencias en los acabados de las realmente necesarias. Igualmente es importante observar la muestra en las condiciones más próximas posibles a la realidad, es decir, en condiciones climáticas, de luz y orientación lo más parecidas posibles a las que estará sometida la fachada.

En cuanto al transporte de los paneles desde la planta de prefabricación a la obra suele realizarse con los paneles dispuestos en caballetes, como refleja la figura 4.51, en orden inverso a su colocación en obra, de manera que se evite una manipulación suplementaria para su montaje definitivo.

Una vez en obra, se procede al montaje de los paneles mediante los mecanismos de elevación que se hayan previsto en proyecto y teniendo en cuenta el centro de gravedad de la pieza. Además, se deben tener en cuenta los puntos de cuelgue o suspensión. Para ello suelen emplearse los llamados inserts, que quedan alojados en el hormigón durante el hormigonado del panel y en los que se roscan los tornillos que sirven de puntos de enlace para el proceso de elevación y que posteriormente son retirados para no entorpecer la estética de la fachada.



*Figura 4.51. Transporte de paneles prefabricados  
(Calavera-Fernández, 1999)*

Referente a las consideraciones que deben adoptarse para evitar variaciones en el aspecto exterior de la fachada conviene considerar cuidadosamente la forma de evacuación del agua de lluvia, la disposición de las líneas de goterón y los salientes en la fachada.

## **CAPÍTULO 5**

### **FACHADAS REALIZADAS CON PANELES PREFABRICADOS IN SITU**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En los capítulos anteriores se han visto las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas *in situ* y las fachadas realizadas con paneles prefabricados en planta. En éste, se siguen tratando las realizadas con paneles prefabricados pero en este caso realizados *in situ*. Así, el presente capítulo, se ha estructurado de la misma manera que el capítulo anterior, organizado en cinco apartados.

En el segundo apartado se estudia el edificio del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña, edificio representativo cuyas fachadas están realizadas con paneles prefabricados *in situ*. Dicho apartado, al igual que en los dos capítulos anteriores, está estructurado en: descripción y función de la obra, sus características generales, los aspectos técnicos a destacar, ejecución del hormigón y puesta en obra de los paneles, y finalmente incidencias halladas

El tercer apartado presenta las ventajas que ofrece la realización *in situ* de los paneles prefabricados de hormigón arquitectónico. En contraposición a este último apartado, en el cuarto se enumeran los inconvenientes y dificultades que presentan este tipo de fachadas y el proceso de fabricación de los paneles *in situ*.

Finalmente, en el quinto apartado se exponen algunas consideraciones finales, a modo de recomendaciones, que deberían tenerse en cuenta en la realización de fachadas de hormigón arquitectónico con paneles prefabricados *in situ*.





Mundial de Ciencias del Deporte. Actualmente, se forman licenciados en educación física y deportes.

### 5.2.2 Características generales

El edificio del INEFC fue proyectado por el arquitecto Ricardo Bofill junto con Peter Hodgkinson. Una de las características más destacables del terreno donde se ubica, es su elevada pendiente en dirección norte-sur, hecho que supone que la fachada principal, orientada al norte, presente dos plantas, mientras que la fachada sur presente cuatro. Asimismo, esta elevada pendiente, permitió ubicar en el interior del edificio dos pistas deportivas con una altura de 9 metros y una superficie de 2500 m<sup>2</sup>.

Todas las fachadas fueron realizadas con paneles prefabricados realizados in situ, convirtiéndose en el primer edificio de hormigón arquitectónico construido en España mediante esta técnica.

La ejecución del edificio se llevó a cabo entre abril de 1988 y junio de 1991 por la empresa constructora Dumez-Copisa, según se detalla en la tesis doctoral realizada por Barth (1997). En total, la superficie construida fue de 32800 m<sup>2</sup> con 5250 m<sup>2</sup> de fachadas revestidas con paneles de hormigón macizos.

### 5.2.3 Aspectos técnicos

A pesar de las diversas soluciones adoptadas para superar la elevada pendiente del terreno, las fachadas presentan cierta uniformidad gracias a la simetría biaxial existente. Así, el frontón situado en el acceso principal centrado en la fachada refuerza la simetría de la misma, como se observa en la figura 5.3. En la fachada oeste, con un alzado equivalente a 3 plantas, las columnas situadas en la parte central y las ventanas verticales refuerzan también la simetría de esta fachada. La figura 5.4 muestra la fachada sur que, a diferencia de las otras fachadas, presenta una mayor diversidad de paneles, aunque la simetría está enfatizada por las escaleras exteriores que nacen en su porche.



*Figura 5.3. Fachada principal*



*Figura 5.4. Fachada posterior*

Esta simetría especular aporta un equilibrio visual de las fachadas y produce la repetición de un gran número de elementos que refuerza la monumentalidad deseada en la composición.

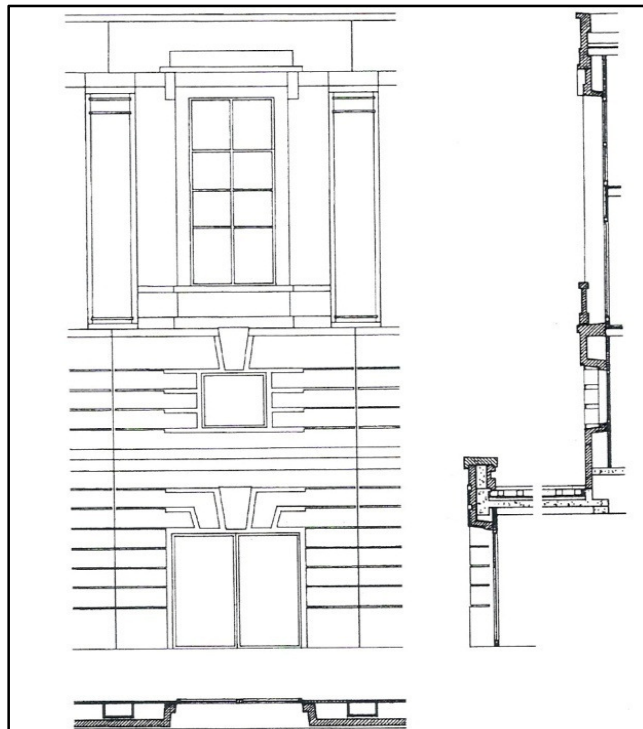


*Figura 5.5. Panel con alto y bajo relieve (superior)*



*Figura 5.6. Junta entre paneles (derecha)*

En general, el diseño de los componentes de las 4 fachadas es bastante diverso. Los paramentos, aunque en general son planos, presentan algunos elementos en alto y bajo relieve que disimulan las juntas entre paneles, como se observa en las figuras 5.5 y 5.6. Asimismo, la figura 5.7 muestra que las ventanas están retrasadas unos 40 cm respecto al plano principal de la fachada.



*Figura 5.7. Detalle de la fachada sur (Barth, 1997)*

#### 5.2.4 Ejecución de los paneles

Los paneles prefabricados de hormigón utilizados presentan una coloración ocre-amarillo claro, obtenida por una mezcla de cemento blanco y aditivos. Cabe destacar, la inexistencia del uso de pigmentos en la composición con el objetivo (Barth, 1997), de facilitar el control de las tonalidades y de aumentar su durabilidad.

De este modo, las características de los materiales empleados en la ejecución de los paneles fueron:

- Cemento blanco Asland II-B/45
- Grava calcárea gris 5-15mm (Garraf)
- Arena amarillenta 0-5mm (Gadea, valencia)
- Filler amarillento 0-1mm
- Aditivo superfluidificante

Asimismo, los paneles fueron sometidos a tratamientos superficiales con el fin de obtener una textura fina y uniforme. Estos tratamientos consistieron en la inmersión de los componentes, 7 días después de su hormigonado, en piscinas de solución con ácido muriático. A continuación se trataron con el lavado con chorro de agua a presión y finalmente, y para proceder a su secado, se apilaron apoyando su cara vista sobre piezas Pilling Plates, permitiendo de esta manera la libre circulación del aire y evitando la aparición de manchas en la superficie vista de los paneles.



*Figura 5.8. Detalle de la superficie de los paneles del edificio de INEFC.*

#### 5.2.5 Puesta en obra de los paneles

Los paneles del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña fueron producidos en una fábrica de carácter provisional situada en el terreno colindante a la

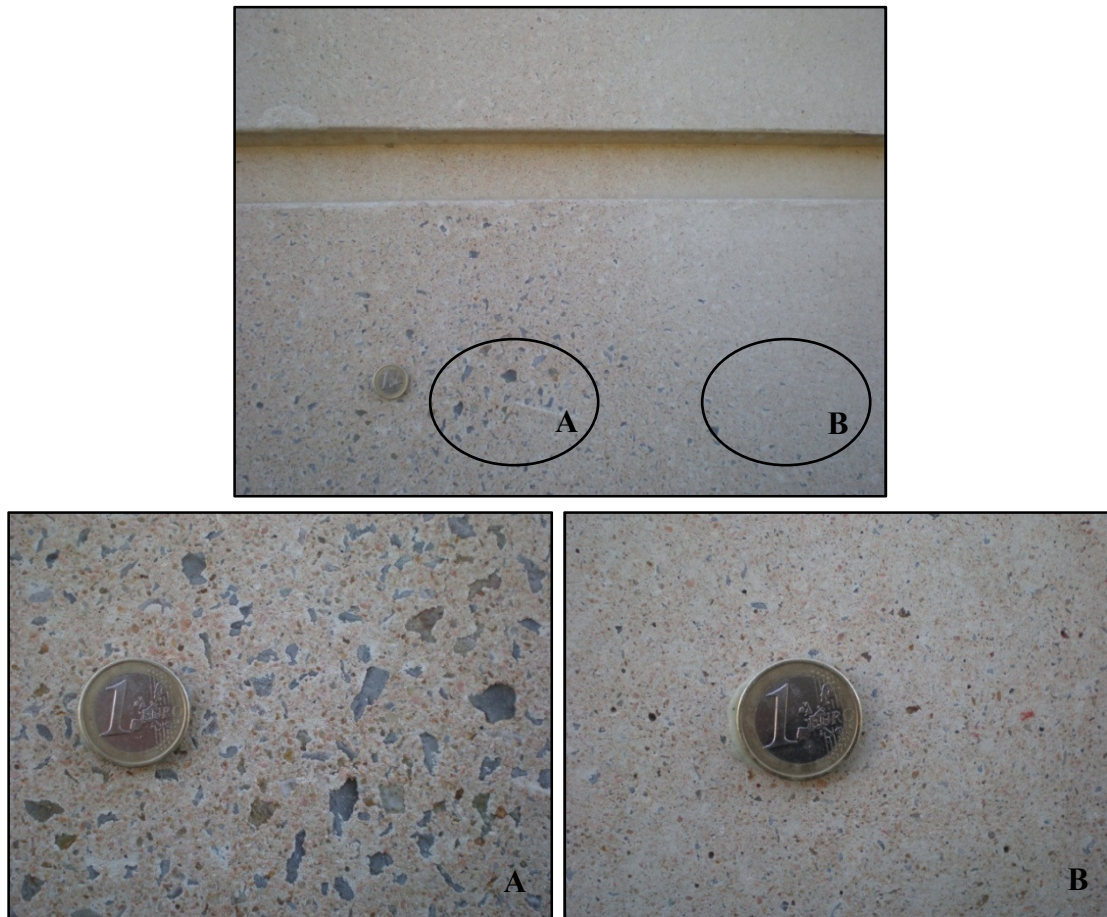


obra, cuya superficie permitió el almacenamiento de los materiales y el acopio de los paneles ya producidos.

Para la puesta en obra de los diversos paneles se requirieron dos grúas torre situadas en las dos pistas deportivas interiores. Los paneles de los frontones de las fachadas norte y sur fueron fijados a una viga hormigonada in situ; posteriormente, y una vez concluido el montaje de todos los paneles, se ejecutó la cobertura metálica.

### 5.2.6 Incidencias

En cuanto a algunas de las incidencias que pueden observarse en las fachadas del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña se encuentran la mala distribución de los áridos en un mismo panel. Así, como muestran las figuras 5.8, 5.9 y 5.10, en algunos paneles se refleja una heterogeneidad de los áridos en la superficie de los paneles, concentrándose en algunas zonas la mayor parte de los áridos más gruesos, y en otras los áridos más finos.



*Figuras 5.8, 5.9 y 5.10. Mala distribución de los áridos en un panel*

Asimismo, algunos de los paneles de las fachadas orientados al norte presentan manchas producidas por la aparición de eflorescencias, es decir, de colonias de microorganismos que se han desarrollado en zonas con mayor humedad. Las figuras 5.11 y 5.12 muestran eflorescencias observadas en la fachada del INEFC.



*Figuras 5.11 y 5.12.  
Eflorescencias observadas en los paneles del INEFC*

Por otra parte, la fachada posterior, y orientada al sur, presenta en el tramo lateral e inferior a las escaleras que caracterizan dicha fachada unas grietas verticales en la misma dirección que las juntas entre paneles que pueden considerarse importantes. Así, la figura 5.13 muestra una imagen general de una de estas grietas, mientras que la figura 5.14 muestra la magnitud de las grietas que alcanzan 1 centímetro de grosor.



*Figura 5.13. Grietas en las juntas  
de los paneles.*



*Figura 5.14. Detalle y magnitud  
de las grietas*

Finalmente, y como ya se ha visto en las fachadas de los capítulos anteriores, una de las incidencias más frecuentes en una fachada consiste en la aparición de suciedades. De este modo en la fachada del Instituto Nacional de Educación Física de Cataluña se observan, suciedades producidas por la acción del agua de lluvia. A continuación, la figura 5.15 muestra los regueros de suciedad que pueden observarse en los paneles de la fachada que nos ocupa, producidos por una limpieza desigual debida los salientes que presentan los paneles.



*Figura 5.15. Regueros de suciedad en los paneles del INEFC.*

### 5.3 VENTAJAS

Las fachadas de hormigón arquitectónico realizadas con paneles prefabricados in situ presentan prácticamente las mismas ventajas que las fachadas realizadas con paneles prefabricados en planta (ver capítulo 4), con la ventaja de que además, al fabricarse los paneles en obra, se minimizan los costes de transporte de los mismos. De esta manera se pueden citar:

- Elevado control de calidad de los acabados.
- Puesta en obra rápida.
- Capacidad de simultaneidad de etapas de construcción.
- Mayor protección y seguridad en obra.
- Posibilidad de disminución de costes de producción debido al alto grado de industrialización que puede alcanzarse.
- Disminución de los costes de transporte, al no haber de transportar los paneles desde la planta de fabricación hasta la obra.

### 5.4 INCONVENIENTES

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, las dificultades que hay que tener presente a la hora de realizar fachadas con paneles de hormigón arquitectónico prefabricados in situ son prácticamente las mismas que las que pueden hallarse en la ejecución de fachadas con paneles prefabricados en planta. Así, destaca el montaje de los paneles que suele requerir elementos de elevado coste como grúas de gran capacidad u otros métodos de elevación. Si más no, uno de los mayores inconvenientes presentes en la realización de fachadas con paneles prefabricados en planta: la necesidad de transporte de los paneles, desaparece en la prefabricación in situ de los paneles. En



contraposición, aparece un inconveniente inexistente en el caso de la prefabricación de los paneles en planta: la necesidad de disponer de espacio suficiente contiguo a la obra para instalar la planta provisional y para el acopio de los paneles una vez fabricados.

## **5.5 RECOMENDACIONES**

Las consideraciones finales que se desprenden de este capítulo, análogamente a los apartados anteriores sobre las ventajas e inconvenientes que ofrecen las fachadas realizadas con paneles prefabricados in situ, son similares a las del capítulo anterior donde se estudian las fachadas realizadas con paneles prefabricados en planta. Es decir, deberían tenerse en cuenta los mismos aspectos referidos a las fachadas ejecutadas con paneles de hormigón arquitectónico prefabricados en planta. Sin embargo, el hecho de tratarse de paneles prefabricados a pie de obra, resta importancia a las consideraciones que deben tenerse presentes en el transporte

Además, se considera que la opción de la prefabricación de los paneles a pie de obra es especialmente recomendable cuando la fachada a construir requiere una gran cantidad de ellos. Asimismo, debe tenerse en cuenta que para poder llevarlo a cabo es necesario disponer de una superficie de terreno libre donde ubicar las instalaciones provisionales y realizar el acopio de los paneles acabados y pendientes de su montaje.



## **CAPÍTULO 6**

### **DEGRADACIÓN DE FACHADAS**

#### **6.1 INTRODUCCIÓN**

El envejecimiento de las fachadas es un hecho inevitable e inapelable, sin embargo, la sensibilización en el proyecto y una buena ejecución pueden reducir parcialmente la degradación de las fachadas o al menos disminuir su velocidad.

Las causas de la degradación de fachadas son diversas y la mayoría son inherentes a factores externos, aunque en muchos casos participan cuestiones propias de cada diseño, existiendo una estrecha relación entre sí. Dichos factores se pueden dividir en:

- Acciones climatológicas y contaminantes
- Actuaciones humanas
- Defectos en la ejecución o en los materiales

Así, en este capítulo se analizan las principales causas de degradación, los efectos producidos en las fachadas y las medidas que puede llevarse a cabo para eliminar o reducir la degradación. El presente capítulo, además, sirve como introducción al capítulo 8, donde se presenta un análisis estadístico de las lesiones.

#### **6.2 CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN DE FACHADAS**

Las dos causas principales de la degradación de las fachadas pueden resumirse, por un lado en las acciones climatológicas o de los agentes contaminantes y por el otro en las actuaciones humanas. Ambas causas se describen a continuación:

### 6.2.1 Acciones climatológicas y contaminantes

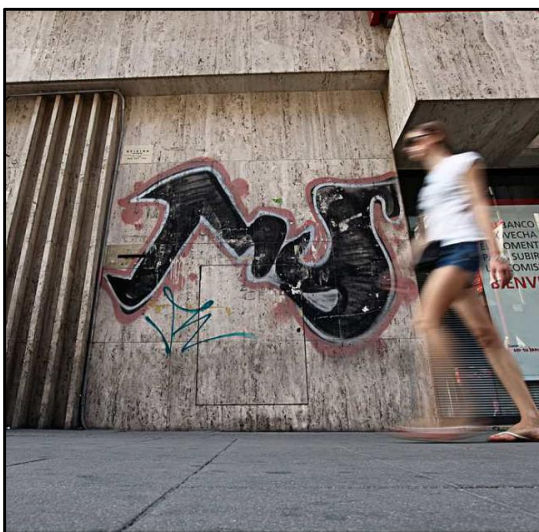
Sin lugar a dudas una de las causas más frecuentes de la degradación de las fachadas reside en las acciones climatológicas y la contaminación ambiental. Así, en este sentido el agua de lluvia tiene una gran repercusión.

Cuando llueve, el agua disuelve lentamente las sales de la pasta de cemento hidratado, traduciéndose a la larga en una textura más rugosa y un aspecto más oscuro de la superficie de hormigón. A la vez, el agua de escorrentía elimina el polvo atmosférico depositado desde el anterior episodio de lluvia, limpiando de manera desigual la fachada y formando regueros de suciedad.

Por otro lado, en zonas donde el agua no circula, la superficie húmeda del hormigón favorece el depósito de las partículas contaminantes suspendidas en el aire provocando zonas de color oscuro. Así, el grado de suciedad de una fachada depende directamente del grado de polución del aire. Se trata, sobre todo, de emisiones debidas a la combustión de todo tipo de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos siendo los nitratos y los dióxidos de carbono y azufre, las más comunes. Además, debe tenerse presente que la intensidad de los focos emisores contaminantes y por lo tanto, como se ha visto anteriormente, causantes del ensuciamiento, depende de la situación geográfica, orientación y exposición de las fachadas.

### 6.2.2 Actuaciones humanas

Finalmente, una de las causas de la degradación de las fachadas de hormigón arquitectónico son las actuaciones humanas. Pueden observarse un gran número de fachadas deterioradas por intervenciones desafortunadas consistentes en la colocación de soportes publicitarios, maquinaria de aire acondicionado u otros apeos, que producen una ruptura estética entre la planta baja y el resto de la fachada, o actuaciones como las pintadas o *graffitis* que reflejan la falta de sensibilidad colectiva y el dominio del individualismo en nuestra sociedad. En las figuras 6.1 y 6.2 se observa dos ejemplos.



Figuras 6.1 y 6.2. Pintadas en fachadas de hormigón

Asimismo la figura 6.3 muestra un ejemplo hallado en una de las fachadas estudiadas en los capítulos anteriores, concretamente en la fachada del Palacio de Congresos de Cataluña. Esta pintada ha sido tratada pero aún así, sigue siendo parcialmente visible.



*Figura 6.3. Pintada parcialmente borrada.*

### **6.3 EFECTOS PRODUCIDOS EN LAS FACHADAS**

En este apartado se describen algunos de los efectos de degradación que pueden presentarse en las fachadas tales como eflorescencias, grietas o suciedades.

#### **6.3.1 Eflorescencias y crecimientos biológicos**

Cuando el ensuciamiento de las fachadas se produce al mismo tiempo que aumenta la humedad en éstas, aparecen las eflorescencias, es decir, crecimientos biológicos de pequeños organismos vegetales como hongos, algas o líquenes. Con la presencia de colonias o familias de estos organismos, el color de las fachadas se ve alterado, pues a cierta distancia, la fachada presenta manchas de color amarillo, verde o rojo.

Estos cultivos biológicos se desarrollan principalmente en las superficies más porosas, poniendo de manifiesto defectos como las coqueras y las grietas superficiales en los acabados del hormigón. Al igual que las suciedades producidas por el efecto de la lluvia y/o los agentes contaminantes, las eflorescencias provocan un oscurecimiento del hormigón.

Otra alteración de tipo biológico que hay que tener en cuenta son las deposiciones de las aves. Estas deposiciones contienen un 2% de ácido fosfórico, cuya acción provoca una disgregación paulatina de materiales con sustrato calcáreo.



*Figura 6.4. Eflorescencias presentes en la fachada de ESADE*

### **6.3.2 Grietas**

Las grietas o fisuras contribuyen a la penetración del agua y otros agentes corrosivos contribuyendo a la aceleración de la degradación de fachadas. Pueden clasificarse atendiendo a su estabilidad en dos tipos diferentes: las grietas activas y las grietas estables. Las activas presentan variaciones dimensionales progresivas y son debidas generalmente a movimientos estructurales o a dilataciones y contracciones térmicas. Las grietas estables son el resultado de la deformación plástica debida, por ejemplo, a la retracción de fraguado del hormigón (González, 2005). La figura 6.5 muestra grietas formadas en la superficie de una fachada de hormigón.



*Figura 6.5. Presencia de grietas en una fachada*



### 6.3.3 Suciedades

La aparición de suciedades en la superficie de las fachadas es una de las lesiones más comunes como se ha observado en el estudio de las fachadas observadas en capítulos anteriores. Las causas principales que producen la formación de manchas de suciedad y polución son el agua de escorrentía que forma regueros de suciedad al limpiar de manera desigual la fachada, así como las zonas de salpicaduras donde el hormigón está saturado y facilita la adhesión de la suciedad y los depósitos puntuales donde se concentra la polución atmosférica.

Un buen ejemplo gráfico de suciedades en fachada de hormigón arquitectónico, puede observarse en la figura 6.6.



*Figura 6.6. Suciedades en una fachada de hormigón arquitectónico*

## 6.4 MEDIDAS DE PREVENCIÓN, LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Algunas de las medidas para limitar la aparición de suciedades han sido ya comentadas en capítulos anteriores. A grandes rasgos para limitar las suciedades causadas por las acciones climatológicas conviene considerar en la fachada la forma de actuación y de evacuación del agua de lluvia, la posición de las líneas de goterón y las zonas donde puede haber acumulación de polvo atmosférico. Además, debe tenerse presente la calidad del hormigón, pues las superficies compactas resultan más difíciles de ensuciar.

Las eflorescencias primarias, que corresponden a las producidas durante las 2 o 3 primeras semanas de edad del hormigón debido al exceso de agua de amasado que arrastra las sales solubles disueltas hacia la superficie, pueden eliminarse mediante el empleo de agua, sin necesidad de cepillar ni ejercer presión, pudiéndose incluso ser eliminadas por la simple acción de lavado del agua de lluvia. En el caso de las eflorescencias secundarias pueden eliminarse con un lavado intenso, cepillado sin alterar la textura del hormigón o mediante el empleo de agua acidulada o de agentes biocidas disueltos en agua.

Para limitar las actuaciones humanas desafortunadas tales como pintadas se recomienda la aplicación de relieve pues disminuye el riesgo de padecerlas ya que las superficies con relieve no invitan a pintar en ellas, al contrario de las completamente lisas y claras. Además, otra opción para limitar las pintadas consiste en la aplicación de una imprimación de un producto antipintadas, el cual limita la existencia de pintadas o facilita su limpieza.

En aquellas fachadas en que las medidas tomadas no consiguen erradicar las suciedades, eflorescencias u otros problemas puede utilizarse procedimientos de limpieza. El principal inconveniente de dichos procedimientos es que suele suponer un elevado coste económico. La figura 6.7 muestra la limpieza de una fachada de obra vista donde la degradación por suciedades es destacable.



*Figura 6.7. Limpieza de una fachada de obra vista.*

Finalmente, debe tenerse presente siempre que es necesario prever un mantenimiento en el tiempo de las prestaciones estéticas desde las primeras etapas. De este modo, por ejemplo, en el caso de la degradación de fachadas producida por las mencionadas actuaciones humanas, puede preverse un mantenimiento periódico para eliminarlas.

## CAPÍTULO 7

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS LESIONES DE FACHADAS EN FUNCIÓN DE SU MATERIAL Y ORIENTACIÓN

#### 7.1 INTRODUCCIÓN

Rompiendo con la línea de exposición de los capítulos anteriores en los que se ha pretendido realizar un estado general de conocimiento sobre el hormigón arquitectónico y las diferentes tipologías de fachadas realizadas con él, este capítulo presenta un análisis estadístico de las lesiones de fachadas en función de su material y de su orientación.

El objetivo del estudio consiste en agrupar los materiales con comportamientos similares y determinar si se puede identificar la lesión que padecerá una fachada a partir del material que la compone y/o de su orientación.

#### 7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y DE LAS VARIABLES

El estudio estadístico se ha realizado a partir de una base de datos de 1916 fachadas realizada por estudiantes y profesores de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid (1987). La base de datos de la que se disponía tenía la misma estructura que la que se muestra en la tabla 7.1, donde de cada una de las 1916 fachadas analizadas se disponía del material de la misma y su orientación:

Fachada	Material	Orientación
1		
...		
1916		

Tabla 7.1. Modelo de la base de datos

En cuanto a las variables del problema, se trata de 7 variables de material, 4 variables de orientación y 9 variables de las lesiones halladas en dichas fachadas. Así, las fachadas estudiadas presentan una de estas 4 orientaciones:

1. Norte
2. Sur
3. Este
4. Oeste

Además las fachadas son de uno de estos materiales, considerándose, cada fachada únicamente de un tipo de estos grupos materiales:

1. Metal + conducciones
2. Hormigón
3. Plástico + madera
4. Ladrillo
5. Revocos y pintura + estucados
6. Enfoscado de cemento
7. Piedra + plaqueta cerámica

Cabe destacar que estos siete materiales provienen ya de una agrupación de los materiales existentes en la base de datos inicial. Así, en el estudio del que parte el presente análisis estadístico (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid, 1987) las 1916 fachadas lesionadas fueron clasificadas según 13 tipos de material de construcción o elementos representativos: ladrillo, enfoscado de cemento, bloque de hormigón, hormigón in situ, plaqueta cerámica, piedra, prefabricados de hormigón, metal, plástico, madera, conducciones, revocos y pinturas y, finalmente, estucados.

La reducción de dicha clasificación se ha realizado siguiendo el criterio de agrupación de todos los grupos en el que el hormigón era el elemento protagonista por una parte, y por otra, agrupando elementos singulares como las conducciones, con el metal debido a que corresponden al mismo material, revocos y pintura se han agrupado con estucados siguiendo el mismo razonamiento, piedra y plaqueta cerámica por similitud en cuanto a características resistentes y plástico y madera por tratarse de materiales testimoniales en las fachadas estudiadas.

Referente a las lesiones halladas en las 1916 fachadas se observan nueve tipos de lesiones diferentes como:

1. Humedades
2. Suciedades
3. Desprendimientos
4. Grietas
5. Estéticas
6. Eflorescencias
7. Erosiones
8. Oxidaciones
9. Pudriciones

Con todo ello, el problema a analizar consiste en pronosticar qué lesión, de entre las nueve posibles determinadas, padecerá la fachada analizada partiendo de las siete variables posibles de material y de las cuatro de orientación.

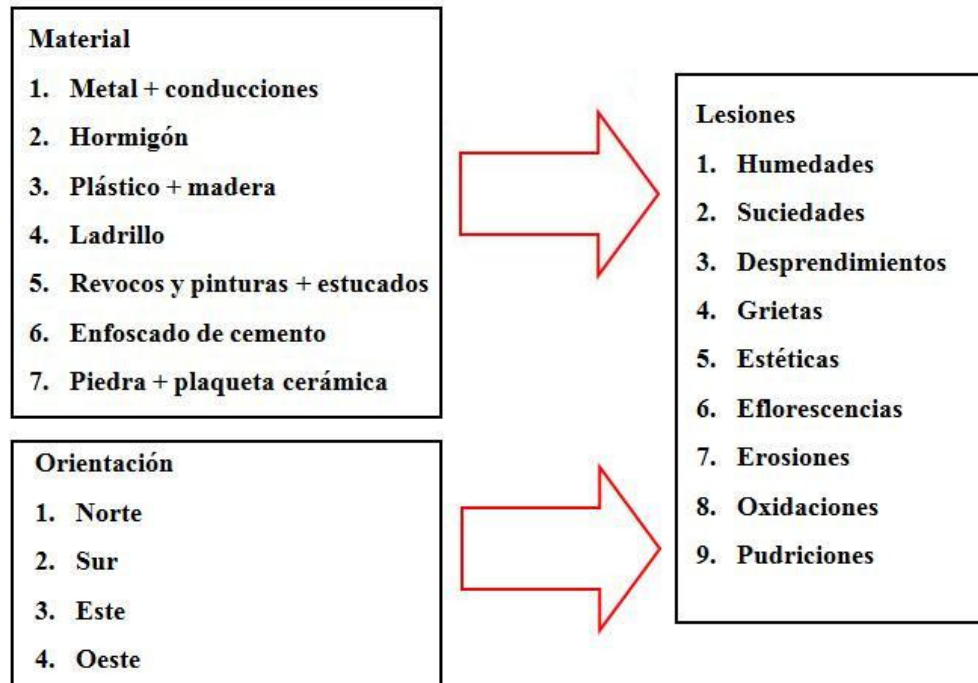


Figura 7.1. Esquema de resolución del problema planteado

### 7.3 AGRUPACIÓN DE LOS MATERIALES: ANÁLISIS CLUSTER

Uno de los objetivos del presente estudio consiste en encontrar una posible correlación entre el material y la orientación que presenta una fachada y la lesión que puede padecer. Con este fin se han realizado dos estudios en paralelo, a partir de la base de datos de 1916 individuos (fachadas) divididas, como se ha mencionado anteriormente, en 7 categorías materiales y 4 de orientación.

En el primer estudio, presentado en este apartado, se ha efectuado un análisis Clúster para agrupar los materiales con comportamientos similares. Es decir, el objetivo es disminuir el número de variables materiales definiendo variables conglomeradas de materiales con comportamientos similares según la base de datos con la que se trabaja. En cambio, en el segundo estudio, usando una regresión logística, se pronostica qué lesión (de entre las nueve estudiadas) presentará una fachada en función del material en el que está realizada y la orientación que presenta. Para ello se ha usado el programa R.

#### 7.3.1 ¿Qué es un análisis Clúster?

El análisis Clúster es un procedimiento estadístico que parte de un conjunto de datos que contiene información sobre una muestra de entidades e intenta reorganizarlas en grupos relativamente homogéneos a los que llama clústers.



Para poder agrupar las variables es necesario tener algunas medidas numéricas que caractericen las relaciones entre las variables. En el problema que nos ocupa como medida de asociación se ha usado la distancia de Aitchinson puesto se trata de una distancia que satisface la invariancia por permutaciones y la coherencia con el producto escalar.

### 7.3.2 Resultados obtenidos

Un dendrograma es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis clúster. En la figura 7.2 se presenta el dendrograma obtenido donde se obtienen los tres clústers en los que se han visto reducidos los inicialmente siete tipos de material existentes.

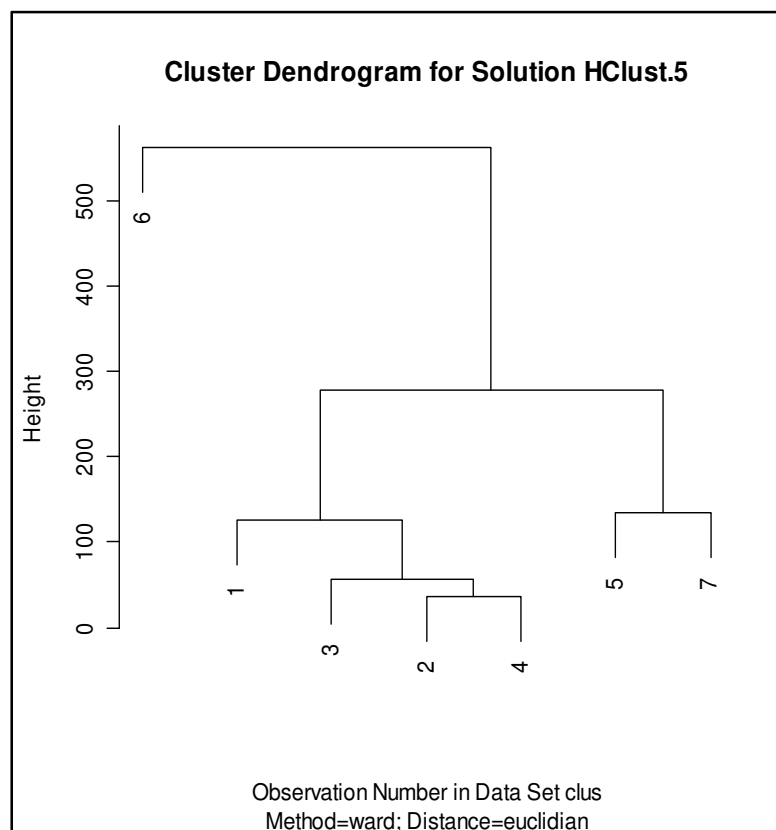


Figura 7.2. Dendrograma obtenido utilizando la distancia de Aitchinson.

De este modo, se han podido agrupar los siete materiales iniciales en los siguientes tres clústers:

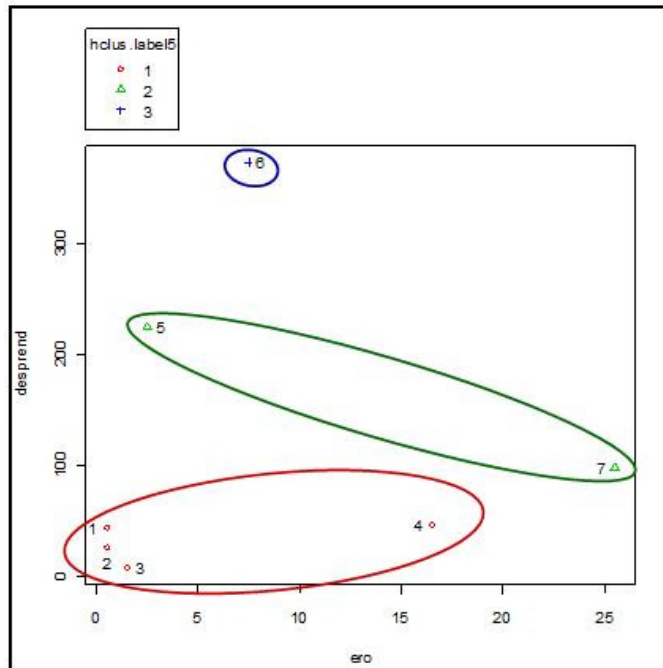
1. Metal + conducciones
2. Hormigón
3. Plástico + madera
4. Ladrillo

5. Revocos y pinturas + estucados
7. Piedra + plaqueta cerámica

## 6. Enfoscado de cemento

Figura 7.3. Clústers obtenidos

Para entender la construcción del dendograma y su significado se representa en los gráficos siguientes la comparación entre erosión (eje abscisas) y desprendimientos (eje de ordenadas) y la comparación entre grietas y suciedad, respectivamente.



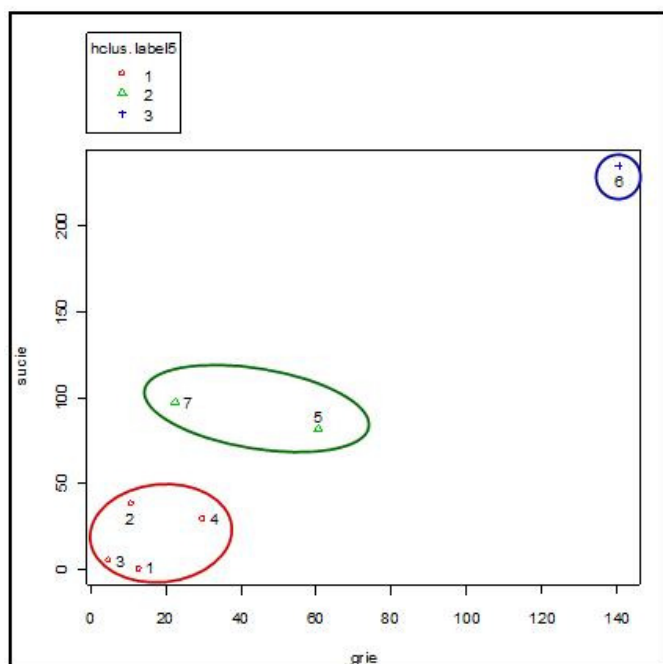
### Comparación erosión – desprendimientos

Los materiales se agrupan:

Metal + conducciones  
Hormigón  
Plástico + madera  
Ladrillo

Revocos y pinturas + estucados  
Piedra + plaqueta cerámica

Enfoscado de cemento



### Comparación grietas – suciedades

Los materiales se agrupan:

Metal + conducciones  
Hormigón  
Plástico + madera  
Ladrillo

Revocos y pinturas + estucados  
Piedra + plaqueta cerámica

Enfoscado de cemento

Figuras 7.4 y 7.5.

Gráficos comparativos entre erosión y desprendimientos y entre grietas y suciedades.

Las comparaciones realizadas anteriormente sirven además, para corroborar la idoneidad de los clústers obtenidos mediante el dendograma (ver figura 7.2). De este modelo se puede afirmar que la agrupación de las variables es satisfactoria.

## 7.4 PRONÓSTICO DE LA LESIÓN: REGRESIÓN LOGÍSTICA

En este segundo estudio, se pretende pronosticar qué lesión (de entre las nueve estudiadas) presentará una fachada en función del material en el que está realizada y la orientación que presenta. Para ello se usa la regresión logística.

### 7.4.1 ¿Qué es una regresión logística?

Los modelos de regresión son modelos estadísticos en los que se desea conocer la relación entre variables. Su importancia reside en el que permite modelar la probabilidad de un evento ocurriendo como función de otros factores. Así, el objetivo primordial que resuelve esta técnica es el de modelar cómo influye en la probabilidad de aparición de un suceso, la presencia o la no presencia de diversos factores.

### 7.4.2 Resultados obtenidos

Al realizar una regresión logística, el programa R facilita una serie de informaciones de gran interés para ver el ajuste del modelo utilizado, su bondad y así comprobar si dicho modelo resulta válido para el estudio.

A continuación se presentan dichas informaciones para el modelo de pronóstico de lesión de fachadas a partir del material que la constituyen y su orientación, es decir:

Lesión ~ Material + Orientación

#### Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	355.766			
Final	320.758	35.009	12	.000

Tabla 7.2. Ajuste del modelo "Lesión ~ Material + Orientación"

Bondad del ajuste

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	160.980	54	.000
Desviación	143.272	54	.000

Tabla 7.3. Bondad del ajuste del modelo

Contrastes de la razón de verosimilitud

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log Verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	333.080	12.323	6	.055
MATERIAL	349.506	28.748	6	.000
ORIENTACIÓN	326.112	5.354	6	.499

Tabla 7.4. Contraste de la razón de verosimilitud del modelo "Lesión ~ Material + Orientación"

Se obtiene que el modelo de pronóstico de la lesión que padecerá una fachada a partir de su material y su orientación no es válido, teniendo que reducir dicho modelo al pronóstico de la lesión únicamente a partir del material de la fachada:

Lesión ~ Material

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log Verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	347.726	221.681	8	.000
MATERIAL	550.093	424.048	8	.000

Tabla 7.5. Contraste de la razón de verosimilitud del modelo "Lesión ~ Material"

Con todo ello se han obtenido las lesiones más probables que pueden padecer las fachadas de cada conglomerado de materiales obtenidos con el análisis Clúster. Las tablas 7.6, 7.7 y 7.8 que se muestran a continuación reflejan los porcentajes de las probabilidades observadas y pronosticadas para cada uno de los clústers.

Material	Lesión	Porcentaje	
		Observada	Pronosticada
1	1	5.3%	4.2%
	2	6.6%	17.2%
	3	28.7%	31.6%
	4	12.6%	10.6%
	5	5.7%	4.6%
	6	1.8%	1.8%
	7	3.9%	4.8%
	8	20.7%	20.7%
	9	4.6%	4.6%

Tabla 7.6. Pronóstico de lesión para fachadas del conglomerado 1.

Así en fachadas realizadas con material 1 (metal, conducciones, hormigón, plástico, madera y ladrillo) las lesiones más probables que padecerán serán los desprendimientos y las oxidaciones. También, aunque en menor grado, aparecerán suciedades. Cabe destacar que ambas lesiones (desprendimientos y oxidaciones) pueden considerarse bastante importantes, pues el tanto por ciento pronosticado es elevado.

En cambio, las fachadas realizadas con material 2 (revocos, pinturas, estucados, piedra y plaqueta cerámica) padecerán principalmente desprendimientos y suciedades. En este caso, el tanto por cierto pronosticado de la lesión desprendimientos es muy elevado, como se observa a continuación:

Material	Lesión	Porcentaje	
		Observada	Pronosticada
2	1	4.9%	6.5%
	2	27.5%	26.6%
	3	49.8%	45.9%
	4	12.7%	15.5%
	5	.9%	2.5%
	6	.0%	.0%
	7	4.2%	3.0%
	8	.0%	.0%
	9	.0%	.0%

Tabla 7.7. Pronóstico de lesión para fachadas del conglomerado 2.



Finalmente, en fachadas realizadas con material 3 (enfoscado de cemento) nuevamente las lesiones más probables serán los desprendimientos y las suciedades. Sin embargo, en este tipo de fachadas el tanto por cierto pronosticado de padecer estas lesiones es aún mayor.

Material	Lesión	Porcentaje	
		Observada	Pronosticada
3	1	7.6%	7.0%
	2	28.3%	28.7%
	3	44.8%	46.3%
	4	16.9%	15.8%
	5	1.6%	1.0%
	6	.0%	.0%
	7	.8%	1.3%
	8	.0%	.0%
	9	.0%	.0%

Tabla 7.8. Pronóstico de lesión para fachadas del conglomerado 3.

## 7.5 CONCLUSIONES

Después de los dos análisis realizados, se puede concluir que sí existe una fuerte correlación entre el material con el que está realizada una fachada y la lesión que puede padecer, en cambio, al disponer únicamente de datos de fachadas lesionadas, no se ha podido ver la significación de la orientación en la lesión. Para poder ver dicha significación se debería disponer también de datos de fachadas no lesionadas. Así pues, en realidad la afirmación realizada en el apartado 7.4.2, de que la lesión no depende de la orientación, es decir, sólo depende del tipo de material, es errónea (deberíamos disponer también de datos de fachadas no lesionadas).

Según los resultados obtenidos, la lesión más probable para cualquier material son los desprendimientos. Además cabe destacar que el material con mayor probabilidad de padecer una lesión es el enfoscado de cemento. Por el contrario, el material que en general ofrece mejor comportamiento frente a las lesiones es el hormigón.



## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES**

#### **8.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se exponen las conclusiones que se derivan del estudio desarrollado y del análisis estadístico llevada a cabo. Estas conclusiones se presentan en forma de conclusiones del análisis estadístico y de conclusiones generales.

Las conclusiones del análisis estadístico responden a la discusión de los resultados presentados y analizados en el capítulo anterior (ver capítulo 7). Las conclusiones generales obedecen a las consideraciones finales que se extraen del resto de los capítulos.

Adicionalmente, se presentan las nuevas tendencias en hormigón arquitectónico cuyo estudio podría ser de gran interés.

#### **8.2 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

En este estudio se han presentado los resultados obtenidos en el análisis estadístico realizado mediante los cuales se ha pretendido demostrar la relación del material y orientación de una fachada con la lesión que padecerá.

En primer lugar es necesario destacar la existencia de una fuerte correlación entre el material con el que está realizada una fachada y la lesión que ésta puede padecer. Al mismo tiempo, a partir de la base de datos con la que se ha realizado el análisis estadístico no se ha podido ver la significación de la orientación en la lesión, debido a que dicha base de datos estaba formada únicamente por fachadas lesionadas y no incluía pues las fachadas observadas que no habían sufrido ningún tipo de degradación. Así pues, para poder demostrar la relación de la orientación con la lesión

debería disponerse de una base de datos que incluyera tanto fachadas lesionadas como no.

Del análisis Clúster realizado y la posterior regresión logística se desprende que la lesión más probable para cualquier material son los desprendimientos. Tras estos últimos, y por tanto, con menor porcentaje de probabilidad de aparición, se encuentran las suciedades.

Además, tras el análisis Clúster se observa los materiales con comportamientos similares frente a la degradación. Así, se puede agrupar el hormigón, el ladrillo, el metal y la medra y plásticos. Por otro lado, las fachadas con revocos, pinturas y estucados se agrupan con las de piedra y plaqueta cerámica. Finalmente, se detecta que las de enfoscado de cemento no se asemejan a fachadas de otro material.

En relación con los materiales con mejor y peor comportamiento frente a la degradación, se ha detectado que las fachadas realizadas con enfoscado de cemento son las que presentan mayor probabilidad de padecer una lesión. Por el contrario, el material que ofrece un mejor comportamiento es el hormigón. Esta última afirmación es de especial interés, pues además de las altas prestaciones estéticas que puede ofrecer el hormigón, y en las que se ha centrado este estudio, se debe añadir su mejor comportamiento frente a padecer lesiones.

### 8.3 CONCLUSIONES GENERALES

- Combinando relieve, textura, color y tonalidad se obtiene el acabado de una estructura de hormigón, sin embargo, la estética de una estructura no reside exclusivamente en estos acabados sino en la forma global que presenta la obra y en su equilibrio con su entorno.
- Para obtener el acabado deseado deben tenerse presente tanto la homogeneidad y orden de amasado, como el tipo de árido y de encofrado empleados (o de procedimiento activo aplicado), método de compactación y condiciones climáticas que se dan durante el hormigonado. Es importante en cualquier caso respetar los tiempos de curado recomendados.
- El criterio de aceptación o rechazo debe estar claramente preestablecido, considerando la tonalidad como parámetro principal. En la misma línea, en fachadas de hormigón arquitectónico debe elevarse el nivel de exigencia al requerirse una elevadas prestaciones estéticas.
- El relieve puede disminuir los espesores de recubrimiento disminuyendo, por tanto, la protección frente a fenómenos de corrosión. Así, es de especial importancia mantener, tras la aplicación de relieve al elemento, los espesores mínimos especificadas.
- Deben evitarse los relieves que favorezcan la formación de suciedad, factor que, además de incidir lógicamente en el aspecto estético del elemento de hormigón, puede repercutir en la durabilidad de éste.

- Cuanto mayor complejidad formal y/o relieve presenta la superficie, más complejo es el molde o encofrado del mismo, requiriéndose hormigones más fluidos, generalmente obtenidos por adición de plastificantes.
- A la hora de resaltar la textura de un elemento pierde todo sentido realizarlo cuando el usuario percibe la estructura a gran velocidad o a cierta distancia, al tratarse de una actuación del orden de milímetros.
- La textura superficial de un elemento de hormigón arquitectónico puede obtenerse por procedimientos pasivos (texturas por encofrado) o por procedimientos activos (tratamiento posteriores al desencofrado).
- Los áridos finos tienen mayor influencia sobre el color del hormigón que los áridos gruesos. Asimismo la granulometría de los áridos debe ser lo más uniforme posible en las distintas amasadas para evitar cambios en la trabajabilidad que posteriormente pueden ocasionar variaciones en el color y la textura.
- El cemento es otro de los componentes con más relevancia a la hora de aportar color. Se emplea cemento blanco para la obtención de coloraciones claras, mientras que para obtener coloraciones fuertes puede emplearse cemento gris. Sin embargo, el principal componente que otorga una coloración concreta al hormigón, son los pigmentos mediante los cuales pueden obtenerse una amplia gama de colores.
- Debe controlarse el rango de dosificación de los aditivos, como los pigmentos, empleados, sin que excedan el máximo ni el mínimo recomendado en cada caso.
- La relación agua-cemento es determinante en la tonalidad. A mayor cantidad de agua los tonos son más claros y luminosos. En ningún caso debe añadirse agua al hormigón a su llegada a obra o en caso de pérdida de consistencia, pues se produciría heterogeneidad tonal respecto a otras amasadas.
- En la realización in situ de fachadas de hormigón arquitectónico mediante el vertido directo del hormigón se debe evitar la caída desde alturas superiores a los 2-3 metros.
- Se recomienda el uso de desencofrantes incoloros y una imprimación regular de los mismos por los encofrados. Además, hay que tener en cuenta que en hormigones pigmentados mediante óxidos ferrosos, el uso de encofrados metálicos puede producir el efecto de magnetismo provocando manchas en la superficie.
- Durante el endurecimiento del hormigón la temperatura ambiental es determinante para la tonalidad final. Así, a elevadas temperaturas, los tonos que se obtienen son más claros. Este hecho es visible en los casos donde las temperaturas de endurecimiento.
- Tanto la realización de las fachadas in situ o mediante el empleo de paneles prefabricados presentan ventajas e inconvenientes. En cualquier caso debe estudiarse el método que mejor se adapta a las características y necesidades requeridas.



- Antes de la realización de las fachadas se recomienda realizar muestras, a escala real en el caso de los paneles o muestras representativas si se trata de fachadas realizadas in situ, que reflejen el aspecto final del hormigón. Igualmente es importante observar la muestra en las condiciones más próximas posibles a la realidad, es decir, en condiciones climáticas, de luz y orientación lo más parecidas posibles a las que estará sometida la fachada.
- En cuanto a la degradación de fachadas cabe destacar que se trata de un hecho inevitable aunque puede reducirse gracias a una sensibilización en proyecto y a una buena ejecución.
- Existen diversas causas de degradación de fachadas. Algunas de estas causas están íntimamente ligadas con el propio diseño de la fachada, aunque la gran mayoría son inherentes a factores externos.
- Los efectos producidos por la degradación en las fachadas se presentan mayoritariamente en forma de eflorescencias, grietas o suciedades. Para limitar la aparición de estos efectos pueden llevarse a cabo diferentes medidas como la limpieza con agua en el caso de las eflorescencias primarias o mediante un lavado más intenso (cepillando o empleando agua acidulada o con agentes biocidas) si se trata de eflorescencias secundarias. En el caso de querer limitar las actuaciones humanas las medidas preventivas a adoptar provienen de un diseño adecuado a ello o a la aplicación e productos que evitan o disminuyen su aparición. Además es importante prever un mantenimiento en el tiempo de las prestaciones estéticas desde las primeras etapas.

#### 8.4 NUEVAS TENDENCIAS

Una de las nuevas tendencias en fachadas de hormigón arquitectónico reside en la aplicación de un “reinventado” esgrafiado. El esgrafiado es una técnica que consiste en dejar al descubierto la capa inferior de una superficie para que aparezcan otras texturas y colores. El reto pues, radica en recuperar esta práctica tan extendida en los siglos XVIII y XIX, partiendo de los avances tecnológicos de los que se dispone hoy en día.

De este modo, el estudio de arquitectura Pich-Aguilera en colaboración con la empresa prefabricadora Escofet llevaron a cabo una línea de investigación basada en la reproducción desde los procesos industriales de los antiguos esgrafiados artesanales de Barcelona.

En base a este estudio formal de los esgrafiados de Barcelona, se identificó que en todos ellos existía una voluntad de continuidad a lo largo de todo el plano de fachada, hecho que se quiso reflejar en los primeros casos de estudio y aplicación: el proyecto de viviendas en la calle Pau Clarís y el Aparthotel Ako-suits de la calle Diptuació (fachada que se estudia en el capítulo 4 del presente estudio). En ésta última la continuidad reflejada

Así, ambas fachadas fueron realizadas con paneles de hormigón arquitectónico esgrafiado integrando el bajorrelieve. Con esta técnica se ampliaba el abanico de

posibilidades, permitiendo una visión más texturizada y una nueva capacidad compositiva de fachadas, que otorga al panel un acabado diferenciado de los paneles lisos de fachada.

La siguiente línea de trabajo puede consistir en la exploración geométrica basada en elementos que sobresalgan del plano de fachada, así como en el estudio del uso de nuevos hormigones y el empleo de áridos con orígenes y prestaciones muy diversas que permitan resultados de gran valor plástico, tecnológico y medioambiental.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguado de Cea A. (2009), Hormigón de altas prestaciones estéticas . *Construcción y Materiales Estructurales Avanzados*.

Aguado de Cea, A. y Josa, A. (1993), Hormigones arquitectónicos. *Cemento-Hormigón*. Nº 722.

Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural (ACHE) (2002), *Hormigones de ejecución especial (seis tipos)*.

Asociación Nacional de Fabricantes de Fachadas de Hormigón Arquitectónico (ANfhARQ) (2007), *Fachadas de Hormigón Arquitectónico*.

Barth, F. (1997), *Las fachadas de hormigón arquitectónico y GRC en Cataluña: Aplicación y comportamiento de los cerramientos prefabricados*.

Calavera, J., Fernández, J. (1999), Prefabricación de edificios y naves industriales. *Monografía Nº 4 INTEMAC*.

Calavera Ruiz, J. "Et al", Fernández Gómez, J., González-Isabel, G., López Sánchez, P., Pérez Luzardo, J.M. (1999). Aspectos visuales del hormigón. *Monografía Nº 3 INTEMAC*.

Congreso Internacional de Arquitectura Blanca (2004), *En blanco: primer congreso internacional de arquitectura blanca*.

Congreso Internacional de Arquitectura Blanca (2006), *En blanco II: segundo congreso internacional de arquitectura blanca*.

Couso, J.R., Carrasco, A. (2003), El Palacio de Congresos de Cataluña en Barcelona. *Cemento-Hormigón*. Nº 845.

Departamento de Construcción Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Valladolid (1987), *Patología de fachadas urbanas*.

Fernández Prada, M. *Historia y evolución del Hormigón estructural*.

Ferrater, C. (2001), El Palacio de Congresos de Cataluña en Barcelona. *Cemento-Hormigón*. Nº 826.

Ferrater, C. (2000), *Thicker than paper*.

González Martín, J. (2005), *Revestimientos continuos. Tradicionales y modernos*.

Martín Palanca, J. (1981), El momento de desencofrar. *Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento*. Nº 364.

Martins Toralles, B. (1996), *Estudio paramétrico de variables y componentes relativos a la dosificación y producción de hormigones de altas prestaciones*.

Monjo Carrió, J. "Et al", Adell Argilés, J.M., del Águila García, A., Ballarín Iribarren, A., Barahona Rodríguez, C., Galindo García, P., García López, M., Neila González, J., Sánchez paradela, L., Seco Fernández, E. (2003), *Tratado de Construcción: Fachadas y cubiertas*.

Muelas Valdeolivas, E. y Romero Postiguillo, J. (1993), *Los hormigones vistos en la edificación y la obra pública*.

Murcia Vela, J., Aguado de Cea, A. y Marí Bernat, A.R. (1993), *Hormigón Armado y pretensado*.

Peck, M. (2007), *Hormigón: diseño, construcción, ejemplos*.

Pérez Luzardo, J.M. (1991), Color y textura en el hormigón estructural. *Cuaderno INTEMAC N° 4*.

Pich- Aguilera Baurier, F. (2011), *Recuperar las texturas del ensanche: el esgrafiado del s. XXI*.

Pich-Aguilera Baurier, F., Escofet 1886, S.A. (1999), *La piel de cerramiento para una vivienda contemporánea*.

Sempere, M. (2006), *Estudi relatiu al formigó autocompactable acolorit. Aplicació a la construcció de la Ciutat de la Justícia de Barcelona i l'Hospitalet*.

Sobrino, J. (2009), Puentes, explorando nuevas formas. *Cuaderno de diseño N° 1*.

Trub, U. (1977), *Die betonoberflache*.

(2001), El Palau de Congressos de Catalunya. *Hormigón Preparado. Vol.XV. N°52*.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Avellaneda, J., Cuchí, A., Zamora, J. (1980), *Manual de diseño de fachadas en hormigón arquitectónico*.

Barahona, C. (2000), *Técnicas para revestir fachadas*.

Chueca, P. *Fachadas: innovación y diseño*.

García-Gasco, S., Mas, V., Saéz-Bravo, E. (2009), *Piel de Hormigón. Aspectos técnicos y estéticos del hormigón autocompactante*.



Morris, A.E.J. (1981) *El hormigón premoldeado en la arquitectura*.

Mostaedi, A. Facades, 2002.

Prestesse Concrete Institute.( 1973), *Architectural Precast Concrete*.



## **ANEJO A.**

### **RESULTADOS ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

#### **AA.1 RESULTADOS REGRESIÓN LOGÍSTICA**

A continuación se presentan los resultados que arroja el programa R, mediante el cual se ha realizado la regresión del análisis estadístico de las lesiones de fachadas en función de su material y orientación

## **AA.2 “LESIÓN ~ MATERIAL + ORIENTACIÓN”**

### Resumen del procesamiento de los casos

		N	Porcentaje marginal
LESIÓN	1	81	7.6%
	2	302	28.3%
	3	445	41.7%
	4	179	16.8%
	5	28	2.6%
	6	8	.8%
	7	23	2.2%
Válidos		1066	100.0%
Perdidos		0	
Total		1066	
Subpoblación		12	



### Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	355.766			
Final	320.758	35.009	12	.000

### Bondad de ajuste

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	160.980	54	.000
Desviación	143.272	54	.000

### Pseudo R-cuadrado

Cox y Snell	.032
Nagelkerke	.034
McFadden	.011

### Contrastes de la razón de verosimilitud

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	333.080	12.323	6	.055
MATERIAL	349.506	28.748	6	.000
ORIENTACIÓN	326.112	5.354	6	.499

El estadístico de chi-cuadrado es la diferencia en las -2 log verosimilitudes entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. La hipótesis nula es que todos los parámetros de ese efecto son 0.

### Estimaciones de los parámetros

LESIÓN <sup>a</sup>		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
1	Intersección	-.725	.960	.571	1	.450	
	MATERIAL	.643	.308	4.362	1	.037	1.902
	ORIENTACIÓN	.130	.220	.351	1	.554	1.139
2	Intersección	.882	.827	1.136	1	.286	
	MATERIAL	.616	.268	5.301	1	.021	1.852
	ORIENTACIÓN	.055	.200	.076	1	.782	1.057
3	Intersección	-.069	.834	.007	1	.934	
	MATERIAL	.969	.269	12.973	1	.000	2.636
	ORIENTACIÓN	.183	.198	.850	1	.356	1.201
4	Intersección	-.265	.879	.091	1	.763	
	MATERIAL	.810	.284	8.133	1	.004	2.248
	ORIENTACIÓN	.090	.205	.194	1	.660	1.095
5	Intersección	-.224	1.078	.043	1	.835	
	MATERIAL	.191	.349	.299	1	.584	1.210
	ORIENTACIÓN	-.011	.258	.002	1	.965	.989
6	Intersección	-1.516	1.660	.833	1	.361	
	MATERIAL	-.463	.478	.939	1	.333	.630
	ORIENTACIÓN	.481	.426	1.276	1	.259	1.618

### Estimaciones de los parámetros

LESIÓN <sup>a</sup>		Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
		Límite inferior	Límite superior
1	Intersección MATERIAL ORIENTACIÓN	1.040 .740	3.477 1.753
2	Intersección MATERIAL ORIENTACIÓN	1.096 .715	3.131 1.562
3	Intersección MATERIAL ORIENTACIÓN	1.555 .814	4.466 1.771
4	Intersección MATERIAL ORIENTACIÓN	1.288 .732	3.922 1.636
5	Intersección MATERIAL ORIENTACIÓN	.610 .596	2.400 1.641
6	Intersección MATERIAL ORIENTACIÓN	.247 .702	1.605 3.729

a. La categoría de referencia es: 7.

### Clasificación

Observado	Pronosticado					
	1	2	3	4	5	6
1	0	11	70	0	0	0
2	0	43	259	0	0	0
3	0	33	412	0	0	0
4	0	12	167	0	0	0
5	0	4	24	0	0	0
6	0	1	7	0	0	0
7	0	1	22	0	0	0
Porcentaje global	.0%	9.8%	90.2%	.0%	.0%	.0%

### Clasificación

Observado	Pronosticado	
	7	Porcentaje correcto
1	0	.0%
2	0	14.2%
3	0	92.6%
4	0	.0%
5	0	.0%
6	0	.0%
7	0	.0%
Porcentaje global	.0%	42.7%

### Frecuencias observadas y pronosticadas

ORIENTACIÓN	MATERIAL	LESIÓN	Frecuencia		
			Observada	Pronosticada	Residuo de Pearson
1	1	1	4	1.476	2.169
		2	11	6.648	2.126
		3	0	4.154	-2.324
		4	3	2.656	.229
		5	0	1.346	-1.206
		6	0	.315	-.566
		7	0	1.407	-1.235
	2	1	2	1.671	.265
		2	5	7.332	-1.067
		3	7	6.518	.227
		4	2	3.554	-.905
		5	3	.970	2.111
		6	1	.118	2.575
		7	1	.837	.181
	3	1	6	7.654	-.621
		2	32	32.708	-.149
		3	44	41.374	.523
		4	19	19.242	-.061
		5	3	2.827	.104
		6	0	.179	-.423
		7	2	2.017	-.012
2	1	1	3	1.355	1.477
		2	8	5.663	1.222
		3	2	4.021	-1.165
		4	2	2.343	-.243
		5	1	1.073	-.073
		6	0	.411	-.649
		7	0	1.134	-1.105
	2	1	0	1.875	-1.429
		2	5	7.629	-1.165
		3	10	7.708	1.013
		4	4	3.831	.095
		5	1	.944	.059
		6	1	.188	1.880
		7	2	.825	1.318
	3	1	5	9.150	-1.425
		2	36	36.267	-.053
		3	56	52.131	.702
		4	24	22.099	.446
		5	3	2.933	.040
		6	0	.304	-.552
		7	1	2.116	-.774
3	1	1	2	1.824	.137
		2	7	7.068	-.031
		3	10	5.703	2.108
		4	2	3.029	-.639
		5	0	1.253	-1.154
		6	0	.785	-.903
		7	0	1.339	-1.196

Los porcentajes se basan en las frecuencias observadas totales de cada subpoblación.

### Frecuencias observadas y pronosticadas

ORIENTACIÓN	MATERIAL	LESIÓN	Frecuencia		
			Observada	Pronosticada	Residuo de Pearson
3	2	1	2	4.652	-1.284
		2	10	17.561	-2.178
		3	18	20.160	-.601
		4	11	9.134	.675
		5	4	2.034	1.405
		6	1	.663	.417
		7	10	1.796	6.221
	3	1	27	19.363	1.803
		2	76	71.191	.668
		3	109	116.281	-.905
		4	45	44.933	.011
		5	2	5.387	-1.475
		6	0	.913	-.957
		7	3	3.932	-.473
4	1	1	0	2.557	-1.675
		2	12	9.194	1.120
		3	14	8.430	2.278
		4	3	4.082	-.578
		5	0	1.525	-1.269
		6	0	1.563	-1.285
		7	0	1.649	-1.322
	2	1	5	4.379	.310
		2	9	15.331	-1.926
		3	12	19.999	-2.280
		4	12	8.260	1.419
		5	6	1.661	3.421
		6	5	.886	4.409
		7	3	1.484	1.262
	3	1	25	25.045	-.009
		2	91	85.408	.700
		3	163	158.522	.489
		4	52	55.836	-.562
		5	5	6.048	-.430
		6	0	1.677	-1.298
		7	1	4.464	-1.650

Los porcentajes se basan en las frecuencias observadas totales de cada subpoblación.



### Frecuencias observadas y pronosticadas

ORIENTACIÓN	MATERIAL	LESIÓN	Porcentaje	
			Observada	Pronosticada
1	1	1	22.2%	8.2%
		2	61.1%	36.9%
		3	.0%	23.1%
		4	16.7%	14.8%
		5	.0%	7.5%
		6	.0%	1.7%
		7	.0%	7.8%
	2	1	9.5%	8.0%
		2	23.8%	34.9%
		3	33.3%	31.0%
		4	9.5%	16.9%
		5	14.3%	4.6%
		6	4.8%	.6%
		7	4.8%	4.0%
	3	1	5.7%	7.2%
		2	30.2%	30.9%
		3	41.5%	39.0%
		4	17.9%	18.2%
		5	2.8%	2.7%
		6	.0%	.2%
		7	1.9%	1.9%
2	1	1	18.8%	8.5%
		2	50.0%	35.4%
		3	12.5%	25.1%
		4	12.5%	14.6%
		5	6.3%	6.7%
		6	.0%	2.6%
		7	.0%	7.1%
	2	1	.0%	8.2%
		2	21.7%	33.2%
		3	43.5%	33.5%
		4	17.4%	16.7%
		5	4.3%	4.1%
		6	4.3%	.8%
		7	8.7%	3.6%
	3	1	4.0%	7.3%
		2	28.8%	29.0%
		3	44.8%	41.7%
		4	19.2%	17.7%
		5	2.4%	2.3%
		6	.0%	.2%
		7	.8%	1.7%
3	1	1	9.5%	8.7%
		2	33.3%	33.7%
		3	47.6%	27.2%
		4	9.5%	14.4%
		5	.0%	6.0%
		6	.0%	3.7%
		7	.0%	6.4%

Los porcentajes se basan en las frecuencias observadas totales de cada subpoblación.

### Frecuencias observadas y pronosticadas

ORIENTACIÓN	MATERIAL	LESIÓN	Porcentaje	
			Observada	Pronosticada
3	2	1	3.6%	8.3%
		2	17.9%	31.4%
		3	32.1%	36.0%
		4	19.6%	16.3%
		5	7.1%	3.6%
		6	1.8%	1.2%
		7	17.9%	3.2%
	3	1	10.3%	7.4%
		2	29.0%	27.2%
		3	41.6%	44.4%
		4	17.2%	17.2%
		5	.8%	2.1%
		6	.0%	.3%
		7	1.1%	1.5%
4	1	1	.0%	8.8%
		2	41.4%	31.7%
		3	48.3%	29.1%
		4	10.3%	14.1%
		5	.0%	5.3%
		6	.0%	5.4%
		7	.0%	5.7%
	2	1	9.6%	8.4%
		2	17.3%	29.5%
		3	23.1%	38.5%
		4	23.1%	15.9%
		5	11.5%	3.2%
		6	9.6%	1.7%
		7	5.8%	2.9%
	3	1	7.4%	7.4%
		2	27.0%	25.3%
		3	48.4%	47.0%
		4	15.4%	16.6%
		5	1.5%	1.8%
		6	.0%	.5%
		7	.3%	1.3%

Los porcentajes se basan en las frecuencias observadas totales de cada subpoblación.

### **AA.3 “LESIÓN ~ MATERIAL”**

### Resumen del procesamiento de los casos

		N	Porcentaje marginal
LESIÓN	1	81	7.6%
	2	302	28.3%
	3	445	41.7%
	4	179	16.8%
	5	28	2.6%
	6	8	.8%
	7	23	2.2%
Válidos		1066	100.0%
Perdidos		0	
Total		1066	
Subpoblación		3	

### Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	182.001			
Final	152.347	29.654	6	.000

### Bondad de ajuste

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	91.254	6	.000
Desviación	83.989	6	.000

### Pseudo R-cuadrado

Cox y Snell	.027
Nagelkerke	.029
McFadden	.010

### Contrastes de la razón de verosimilitud

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	164.795	12.448	6	.053
MATERIAL	182.001	29.654	6	.000

El estadístico de chi-cuadrado es la diferencia en las -2 log verosimilitudes entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. La hipótesis nula es que todos los parámetros de ese efecto son 0.

### Estimaciones de los parámetros

LESIÓN <sup>a</sup>		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
1	Intersección	-.390	.781	.250	1	.617	
	MATERIAL	.659	.307	4.625	1	.032	1.933
2	Intersección	1.019	.662	2.370	1	.124	
	MATERIAL	.624	.267	5.480	1	.019	1.867
3	Intersección	.409	.669	.374	1	.541	
	MATERIAL	.991	.268	13.691	1	.000	2.694
4	Intersección	-.036	.714	.003	1	.960	
	MATERIAL	.822	.283	8.439	1	.004	2.275
5	Intersección	-.253	.869	.084	1	.771	
	MATERIAL	.190	.348	.298	1	.585	1.209
6	Intersección	-.173	1.073	.026	1	.872	
	MATERIAL	-.410	.475	.745	1	.388	.664

### Estimaciones de los parámetros

LESIÓN <sup>a</sup>		Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
		Límite inferior	Límite superior
1	Intersección MATERIAL	1.060	3.526
2	Intersección MATERIAL	1.107	3.148
3	Intersección MATERIAL	1.594	4.554
4	Intersección MATERIAL	1.306	3.960
5	Intersección MATERIAL	.611	2.391
6	Intersección MATERIAL	.262	1.683

a. La categoría de referencia es: 7.

### Clasificación

Observado	Pronosticado					
	1	2	3	4	5	6
1	0	9	72	0	0	0
2	0	38	264	0	0	0
3	0	26	419	0	0	0
4	0	10	169	0	0	0
5	0	1	27	0	0	0
6	0	0	8	0	0	0
7	0	0	23	0	0	0
Porcentaje global	.0%	7.9%	92.1%	.0%	.0%	.0%

### Clasificación

Observado	Pronosticado	
	7	Porcentaje correcto
1	0	.0%
2	0	12.6%
3	0	94.2%
4	0	.0%
5	0	.0%
6	0	.0%
7	0	.0%
Porcentaje global	.0%	42.9%



### Frecuencias observadas y pronosticadas

MATERIAL	LESIÓN	Frecuencia			Porcentaje	
		Observada	Pronosticada	Residuo de Pearson	Observada	Pronosticada
1	1	9	7.218	.694	10.7%	8.6%
	2	38	28.529	2.182	45.2%	34.0%
	3	26	22.371	.896	31.0%	26.6%
	4	10	12.105	-.654	11.9%	14.4%
	5	1	5.181	-1.896	1.2%	6.2%
	6	0	3.080	-1.788	.0%	3.7%
	7	0	5.517	-2.430	.0%	6.6%
2	1	9	12.564	-1.050	5.9%	8.3%
	2	29	47.942	-3.306	19.1%	31.5%
	3	47	54.258	-1.229	30.9%	35.7%
	4	29	24.790	.924	19.1%	16.3%
	5	14	5.639	3.588	9.2%	3.7%
	6	8	1.841	4.568	5.3%	1.2%
	7	16	4.967	5.034	10.5%	3.3%
3	1	63	61.218	.237	7.6%	7.4%
	2	235	225.529	.739	28.3%	27.2%
	3	372	368.371	.254	44.8%	44.4%
	4	140	142.105	-.194	16.9%	17.1%
	5	13	17.181	-1.019	1.6%	2.1%
	6	0	3.080	-1.758	.0%	.4%
	7	7	12.517	-1.571	.8%	1.5%

Los porcentajes se basan en las frecuencias observadas totales de cada subpoblación.

#### **AA.4 “LESIÓN ~ ORIENTACIÓN”**

### Resumen del procesamiento de los casos

	N	Porcentaje marginal
LESIÓN		
1	81	7.6%
2	302	28.3%
3	445	41.7%
4	179	16.8%
5	28	2.6%
6	8	.8%
7	23	2.2%
Válidos	1066	100.0%
Perdidos	0	
Total	1066	
Subpoblación	4	

### Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	119.629			
Final	113.368	6.260	6	.395

### Bondad de ajuste

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	13.494	12	.334
Desviación	13.410	12	.340

### Pseudo R-cuadrado

Cox y Snell	.006
Nagelkerke	.006
McFadden	.002

### Contrastes de la razón de verosimilitud

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	190.915	77.547	6	.000
ORIENTACIÓN	119.629	6.260	6	.395

El estadístico de chi-cuadrado es la diferencia en las -2 log verosimilitudes entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. La hipótesis nula es que todos los parámetros de ese efecto son 0.

### Estimaciones de los parámetros

LESIÓN <sup>a</sup>		B	Error típ.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)
1	Intersección	.771	.663	1.351	1	.245	1.185
	ORIENTACIÓN	.169	.219	.597	1	.440	
2	Intersección	2.311	.595	15.082	1	.000	1.097
	ORIENTACIÓN	.093	.199	.219	1	.640	
3	Intersección	2.283	.591	14.924	1	.000	1.263
	ORIENTACIÓN	.233	.197	1.402	1	.236	
4	Intersección	1.664	.613	7.365	1	.007	1.145
	ORIENTACIÓN	.136	.204	.442	1	.506	
5	Intersección	.189	.772	.060	1	.806	1.003
	ORIENTACIÓN	.003	.258	.000	1	.992	
6	Intersección	-2.430	1.418	2.939	1	.086	1.574
	ORIENTACIÓN	.454	.429	1.118	1	.290	

### Estimaciones de los parámetros

LESIÓN <sup>a</sup>	Intervalo de confianza al 95% para Exp(B)	
	Límite inferior	Límite superior
1 Intersección ORIENTACIÓN	.771	1.820
2 Intersección ORIENTACIÓN	.743	1.620
3 Intersección ORIENTACIÓN	.858	1.857
4 Intersección ORIENTACIÓN	.768	1.708
5 Intersección ORIENTACIÓN	.605	1.663
6 Intersección ORIENTACIÓN	.679	3.649

a. La categoría de referencia es: 7.

### Clasificación

Observado	Pronosticado					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	81	0	0	0
2	0	0	302	0	0	0
3	0	0	445	0	0	0
4	0	0	179	0	0	0
5	0	0	28	0	0	0
6	0	0	8	0	0	0
7	0	0	23	0	0	0
Porcentaje global	.0%	.0%	100.0%	.0%	.0%	.0%

### Clasificación

Observado	Pronosticado	
	7	Porcentaje correcto
1	0	.0%
2	0	.0%
3	0	100.0%
4	0	.0%
5	0	.0%
6	0	.0%
7	0	.0%
Porcentaje global	.0%	41.7%

### Frecuencias observadas y pronosticadas

ORIENTACIÓN	LESIÓN	Frecuencia			Porcentaje	
		Observada	Pronosticada	Residuo de Pearson	Observada	Pronosticada
1	1	12	10.795	.381	8.3%	7.4%
	2	48	46.651	.240	33.1%	32.2%
	3	51	52.169	-.202	35.2%	36.0%
	4	24	25.480	-.323	16.6%	17.6%
	5	6	5.107	.402	4.1%	3.5%
	6	1	.584	.546	.7%	.4%
	7	3	4.215	-.600	2.1%	2.9%
2	1	8	12.388	-1.297	4.9%	7.6%
	2	49	49.598	-.102	29.9%	30.2%
	3	68	63.810	.671	41.5%	38.9%
	4	30	28.271	.357	18.3%	17.2%
	5	5	4.960	.018	3.0%	3.0%
	6	1	.890	.117	.6%	.5%
	7	3	4.083	-.543	1.8%	2.5%
3	1	31	25.840	1.056	9.1%	7.6%
	2	93	95.851	-.344	27.4%	28.3%
	3	137	141.874	-.537	40.4%	41.9%
	4	58	57.020	.142	17.1%	16.8%
	5	6	8.758	-.944	1.8%	2.6%
	6	1	2.468	-.938	.3%	.7%
	7	13	7.190	2.190	3.8%	2.1%
4	1	30	31.978	-.364	7.2%	7.7%
	2	112	109.900	.233	26.8%	26.3%
	3	189	187.147	.182	45.2%	44.8%
	4	67	68.230	-.163	16.0%	16.3%
	5	11	9.174	.609	2.6%	2.2%
	6	5	4.058	.470	1.2%	1.0%
	7	4	7.512	-1.293	1.0%	1.8%

Los porcentajes se basan en las frecuencias observadas totales de cada subpoblación.



